



Lietuvos
inžinerijos
kolegija

PRAMONĖS IR VERSLO SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI

2024 M.

Mokslinės konferencijos
„PRAMONĖS IR VERSLO
SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI“
recenzuotų straipsnių rinkinys

Mokslinės konferencijos „Pramonės ir mokslo sinergija tvariai ateičiai 2024“

Mokslinis komitetas:

Recenzuotų straipsnių rinkinio vyr. redaktorė, mokslinio komiteto vadovė – dr. Giedrė Adomavičienė

Atsakingoji mokslinė sekretorė – dr. Esmeralda Štyps.

Redkolegijos ir mokslinio komiteto nariai:

Dr. Ernesta Liniauskienė

Dr. Gitana Vyčienė

Dr. Rasa Žygienė

Dr. Andrius Dargužis

Dr. Gediminas Daukšys

Dr. Rūta Jankūnienė

Dr. Rosita Norvaišienė

Dr. Kęstutis Vitkauskas

TURINYS

KELIŲ IR STATYBOS INŽINERINIAI SPRENDIMAI.....	7
KELIO STATINIŲ (PRALAIĐŲ) ĮRENGIMO DAUGIAKRITERINIS INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ VERTINIMAS.....	8
Regina Motienė, Kostas Dulka Lietuvos inžinerijos kolegija	
VIETINIŲ ORGANINIŲ ŽALIAVŲ TVARIOJE STATYBOJE PANAUDOJIMO VERTINIMAS	16
Dainius Ramukevičius, Iveta Sokolovaitė Lietuvos inžinerijos kolegija	
DARNIOS STATYBOS SPRENDIMŲ TYRIMAI.....	24
SOCIALINĖS PASKIRTIES PASTATO NEVENTILIUOJAMO FASADO SERTIFIKUOTŲ ŠILTINIMO SISTEMŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS.....	25
Violeta Medelienė, Paulius Jankauskas Lietuvos inžinerijos kolegija	
SPORTO KOMPLEKSO LAIKANČIŲJŲ KONSTRUKCIJŲ – KOLONŲ– DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ.....	32
Giedrius Kačinauskas, Jūratė Mockienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
VETERINARIJOS KLINIKOS GRINDŲ DANGŲ VARIANTŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ.....	38
Nikolaj Gorbatenko, Jūratė Mockienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
ASSESSMENT OF LAND USE IN ALYTUS DISTRICT MUNICIPALITY USING CONTACT AND REMOTE RESEARCH METHODS	45
Viltė Abalikškaitė, Vilma Šalkauskienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
APLINKOS INŽINERIJOS TYRIMAI	54
ERDVINIŲ DUOMENŲ APIE SAVAIMINĮ ŽEMĖS APAUGIMĄ MIŠKU TYRIMAS VĮ VALSTYBINIŲ MIŠKŲ URĖDIJOS PRIENŲ REGIONINIAME PADALINYJE	55
Edita Abalikštienė, Daniela Uleckaitė Lietuvos inžinerijos kolegija	
LIETAUS VANDENS NAUDOJIMAS AUGALŲ LAISTYMO MEDELIOJE	62
Tautvydas Kliučius, Gitana Vyčienė Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas	
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERINIŲ SISTEMŲ TYRIMAI	67
ROBOTO FIKSTŪROS DARBINIŲ KOORDINAČIŲ AUTOMATINIS REGULIAVIMAS.....	68
Vitalija Kuzmenkova ¹ , Rūta Jankūnienė ² ¹ UAB „Hella Lithuania“, ² Lietuvos inžinerijos kolegija	
ADAPTYVI AVALYNĖS ŠILDYMO SISTEMA.....	82
Rūta Jankūnienė ¹ , Darius Kybartas ^{1,2} , Rokas Tamulynas ³ ¹ Lietuvos inžinerijos kolegija, ² Kauno technologijos universitetas, ³ UAB „Jungtis“	

KEY PARAMETER ANALYSIS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS	91
Piñeiro Redondo Yara, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
PECULARITIES OF WAVE ENERGY USAGE FOR HOME USE	94
Pablo Urbelz Caro, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
AUTOTRANSPORTO ELEKTRONIKOS SISTEMŲ TYIMAI	98
PROGRAMUOJAMO AUTOMOBILIO VARIKLIO VALDYMO BLOKO EFEKTYVUMO IR GEDIMŲ DAŽNIO TYRIMAS ESANT ĮTAMPOS SVYRAVIMAMS.....	99
Tomas Margelis, Rasa Žygienė	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
ŠERKŠNO FORMAVIMOSI PARAMETRŲ TYRIMAS NAUDOJANT AUTOMATINĘ PAPILDOMĄ AUTOMOBILIO VEIDRODĖLIŲ VALDYMO SISTEMĄ.....	110
Lukas Brazys, Rasa Žygienė	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
AUTOMOBILIO IŠMETIMO SISTEMOS GARSO REGULIAVIMO SKLENDĖS JUDĖJIMO DINAMIKOS TYRIMAS	118
Lukas Pukelis, Rasa Žygienė	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
TRANSPORTO PRIEMONIŲ TECHNOLOGINIAI TYRIMAI	126
AUTOMOBILIŲ PATEKIMO Į SERVISĄ PRIEŽASČIŲ PRIKLAUSOMYBĖ NUO JŲ EKSPLOATACIJOS LAIKO	127
Paulius Makevičius, Marius Mažeika	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
ALYVOS PRIEDO ĮTAKA VARIKLIO EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS	133
Tomas Mickevičius, Mantas Matišonka	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
KROVININIŲ AUTOMOBILIŲ VAŽIUOKLĖS KOMPONENTŲ DĖVĖJIMOSI LYGIŲ VERTINIMO TEORINIAI IR PRAKTINIAI ASPEKTAI	138
Pijus Kairys, Marius Mažeika	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
STABDŽIŲ TRINKELIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS	144
Tomas Mickevičius, Vytautas Kryžius	
Lietuvos inžinerijos kolegija	
AERONAUTIKOS KRYPTIES TECHNOLOGINIAI TYRIMAI	150
DESIGN CHALLENGES OF MECHANICAL TRANSMISSIONS IN AIRCRAFT	151
César Izquierdo Brasero, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
AIRBUS A330 ELECTRICAL SYSTEM ANALYSIS.....	156
Martin Romero Espel, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF WELDED JOINTS IN AIRCRAFT	162
Diego Crespo Iglesias, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
IMPACT OF COUPLING APPLICATION ON ENSURING THE FUNCTIONALITY OF AIRCRAFT COMPONENTS	167
Guzmán Ortega Muñoz, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
APPLICATION PECULIARITIES OF MATERIALS FOR BELT TRANSMISSION IN AIRCRAFTS	171
Miguel Crespo Perea, Esmeralda Štys	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
PERFORMANCE CHARACTERISTICS ANALYSES OF A NOZZLE	174
Diego Hernández Reques, Štys Esmeralda	
Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
INŽINERINIŲ IR BENDRŲJŲ KOMPETENCIJŲ TYRIMAI ĮGYVENDINANT MOKYMOSI VISĄ GYVENIMĄ KONCEPCIJĄ	178
SAUGAUS DARBO, SAUGAUS DARBO UŽTIKRINIMO ORGANIZACIJOJE, RIZIKOS TOLERANCIJOS IR NELAIMINGŲ ATSITIKIMŲ DARBE SĄSAJOS	179
Ugnė Savanevičiūtė, Lina Girdauskienė	
Lietuvos inžinerijos kolegija	

KELIŲ IR STATYBOS INŽINERINIAI SPRENDIMAI

KELIO STATINIŲ (PRALAIĐŲ) ĮRENGIMO DAUGIAKRITERINIS INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ VERTINIMAS

Regina Motienė, Kostas Dulka
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Projektuojant ir statant kelius, dažnai neapsieinama be vandens pralaidų. Todėl gan svarbu žinoti bei mokėti, kaip jas tinkamai parinkti, nes tai gan svarbus kelio statinys. Projektuojant be kokių objektą yra planuojami bei programuojami būsimų technologinių procesų veiksmai, jų efektyvumas ir konkurentabilumas. Svarbu kompleksiskai bei sistemiskai įvertinti inžinerinius sprendimus, siekiant racionaliai panaudoti į bet kurį statybos procesą investuotas lėšas (Jurkėnas, 2022). Norint sužinoti kelio statiniui įrengimui tinkantį, inžinerinį sprendimą buvo atlikta pralaidų įrengimo analizė ir daugiakriterinis jų vertinimas, esant skirtingam vertinimo kriterijų reikšmingumui.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Entropinis ekspertinis vertinimo būdas, porinis ekspertinis vertinimo būdas, daugiakriterinis vertinimo būdas, pralaidos.

Išvadas

Tiesiant naują kelią arba rekonstruojant seną, jo trasoje pasitaiko įvairių kliūčių: upių, kanalų, daubų, griovių, slėnių, įklonių, kelių, inžinerinių komunikacijų ir kt. Norint nutiesti kelią per tokias kliūtis, reikia statyti specialius statinius. Jų priežiūra turi būti paprasta ir nebrangi. Statiniai turi būti tokios konstrukcijos, kad būtų stiprūs, išlaikytų pastovią formą, bei padėtų ir standumą veikiant apkrovoms, bei nepalankiai aplinkai. Eksploataciniu požiūriu transporto statiniai turi būti tokie, kad būtų saugus ir patogus transporto priemonių, bei pėsčiųjų eismas, atsižvelgiant į nuolat didėjantį eismo intensyvumą. Pagrindiniai kelio statiniai: tiltas, viadukas, estakada, tunelis, įvairios paskirties pralaidos, krantinės ir atraminės sienos.

Pralaidos įrengiamos laikantis Kelių tiesimo taisyklių. Skersai kelią, pratekančiojo vandens kryptimi, tiesiamas vandens nutekėjimo vamzdis. Jei upelis platesnis, gali būti įrengiamos dvi vandens pralaidos – viena šalia kitos – tai pigiau, nei pastatyti tiltą.

Vandens pralaidų defektai, pažaidos, jų priežastys, techninės būklės vertinimas, aprašomi Lietuvos (Gurskis ir kt., 2004) ir užsienio (Petru et al., 2017 ir kt.) mokslininkų. VP remonto ir rekonstravimo būdai aprašomi taisyklėse (ST 120793378.01:2014; ST 120793378.02:2015; OBEC Consulting Engineers, 2017).

Atsižvelgiant į visus veiksnus, statistikos duomenis ir įtakojančias aplinkas, išvengiama problema – koks turėtų būti priimtas inžinerinis sprendimas įrengiant pralaidas, kad būtų užtikrintas eismo saugumas?

Tyrimo objektas – kelio statinių (pralaidų) įrengimo daugiakriterinis inžinerinių sprendimų vertinimas.

Tyrimo tikslas – atlikti (kelio statinių) pralaidų įrengimo daugiakriterinį inžinerinių sprendimų vertinimą.

Tyrimo uždaviniai:

1. Identifikuoti pralaidų įrengimo variantus.
2. Atlikti pralaidų įrengimo daugiakriterinį inžinerinių sprendimų vertinimą.

Tyrimo metodai:

1. Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas taikomas nustatyti racionaliausią kelio statinių (pralaidų) parinkimo varianto sprendimą pagal pasirinktus kriterijus. (Šileikaitė, 2017)
2. Entropijos metodas taikomas nustatant kelio statinių (pralaidų) parinkimo alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą.
3. Ekspertinis porinio palyginimo metodas taikomas subjektyvaus kriterijų reikšmingumo nustatymui.

Alternatyvių kelio statinių (pralaidų) įrengimo variantų analizė

Atliekant inžinerinių sprendimų analizę, nagrinėjami informacijos šaltiniuose pateikti galimi alternatyvūs nurodytos srities inžineriniai sprendimai, analizuojami jų techniniai ekonominiai rodikliai, sprendimų įvykdymo būdai.

Vienkriteriniai ir daugiakriteriniai įvertinimo metodai yra išreiškiami skaičiais, turi matavimo vienetus ir reikšmingumą. Kriterijų reikšmingumas parodo, kiek vienas kriterijus yra svarbesnis už kitą juos lyginant tarpusavyje. Taikant porinio palyginimo metodą, bus nustatytas subjektyvus kriterijų reikšmingumas. Teoriniam kriterijų reikšmingumui nustatyti naudojamas Entropijos metodą, kurio esmė grindžiama teoriniu bei kompleksiniu kriterijų reikšmingumo nustatymu.

Norint priimti ekonomiškiausią ir tinkamiausią pralaidų įrengimo inžinerinį sprendimą tarpusavyje palyginamos galimų pralaidų įrengimo vertinimo kriterijų skaitinės reikšmės. Tam geriausiai tinka daugiakriteriniai metodai.

Plastikinės pralaidos vamzdis. Pecor Quattro vamzdžiai gaminami iš polipropileno (PP), juos sudaro dvi sienelės. Išorinė vamzdžio sienelė gofruota, todėl užtikrinamas didelis žiedinis standumas SN8 (8 kPa), o vidinė sienelė lygi, taip užtikrinamos optimalios nuotėkio sąlygos. Pecor Quattro vamzdžių DN/ID (nominalusis / vidinis) skersmuo gali būti nuo 200 iki 1000 mm. Iš to paties vamzdžio gamybos metu suformuotas movinis galas užtikrina greitą vamzdžių montavimą. Be to, ant įmovinio vamzdžio galo dedamas elastomerinis sandarinimo žiedas užtikrina reikiamą jungčių sandarumą.



1 pav. Plastikinės pralaidos vamzdis

Šaltinis: Viacon, Pecor Quattro – Viacon LT Prieiga per internetą <https://viacon.lt/pecor-quattro/>

1 lentelė

Pecor Quattro vamzdžių su mova matmenys

DN/ID	ID (mm)	OD (mm)	Dz (mm)	L1 (mm)	L (mm)	
200	198	227	255	130	3000	6000
300	294	345	380	165	3000	6000
400	397	4543	490	190	3000	6000
500	797	567	610	220	3000	6000
600	597	682	730	230	3000	6000
800	793	907	960	310	3000	6000
1000	988	1130	1192	385	3000	6000

Šaltinis: Viacon, Pecor Quattro – Viacon LT Prieiga per internetą <https://viacon.lt/pecor-quattro/>

Pecor Quattro vamzdžiai pagaminti naudojant polipropileną su dažikliu (pigmentu), siekiant gauti norimą spalvą:

- išorinė sienelė: juoda,
- vidinė sienelė: balta, šviesiai pilka.

Metalinės pralaidos vamzdis. Metalinės pralaidos dėl grunto ir lanksčių metalinių gofruotų konstrukcijų sąveikos šios konstrukcijos atlaiko dideles apkrovas. Jos yra nebrangios, lengvai ir greitai surenkamos. Dėl savo fizikinių savybių ir sąveikos su gruntu jos klasifikuojamos kaip lanksčios konstrukcijos.

Vamzdžių gamyba ir jų panaudojimas kelių statyboje vykdomi laikantis PN-85/S-10030 ir LST EN 1991-2:2007 standartų reikalavimų. Pagrindinis privalumas naudojant HelCor® ir HelCor PA® vamzdžius yra greitas ir paprastas montavimas leidžiantis reikšmingai sumažinti statybos išlaidas ir paspartinti objektų įgyvendinimą.

HelCor® ir HelCor PA® vamzdžių, bei jų apkabų gamybai naudojamas plienas atitinka Europos standartus: - LST EN 10346:2009 “Ištisinė lydaline danga dengti plokštieji plieniniai gaminiai. Techninės tiekimo sąlygos” HelCor® ir HelCor PA® plieno mechaninės savybės, plieno klasė, standartas, takumo riba, tempimo stipris. Pailgėjimas [MPa] [MPa] [%] DX51D LST-EN 10346 - 270 iki 500 22 S250GD 250 330 19, plieno juostos storis yra nuo 1,5 mm iki 3,5 mm. Parenkama priklausomai nuo gofro dydžio. Profiliojami dviejų tipų gofrai: - D1 - 68 x 13 mm - D3 - 125 x 26 mm, plienas yra tiekiamas juostomis ritėse ir gamykloje gali būti padengtas šių storių antikorozone danga:

- 600 g/m2 iš abiejų pusių, t.y. 42 µm storio danga kiekvienoje juostos pusėje
- 1000 g/m2 iš abiejų pusių, t.y. 70 µm storio danga kiekvienoje juostos pusėje
- 600 g/m2 iš abiejų pusių, t.y. 42 µm storio danga kiekvienoje juostos pusėje su papildoma 300 µm polimerine danga Trenchcoat™ iš vienos ar iš abiejų juostos pusių.

Vamzdžiai HelCor® yra gaminami šaltai gofruojant plieno juostą ir susukant ją į apvalų nuo 300 mm iki 3600 mm diametro vamzdį.



2 pav. Metalinės pralaidos vamzdis

Šaltinis: *Viacon, Pecor Quattro* – *Viacon LT* Prieiga per internetą <https://viacon.lt/pecor-quattro/>

Gelžbetoninės pralaidos vamzdis. Gamina nuo 400 iki 1600 mm skersmens movinius gelžbetoninius vamzdžius, kurių užkasimo gylis siekia 10 metrų. Pralaidos komplektuojamos su guminėmis sandarinimo tarpinėmis. Beslėgės gelžbetoninės pralaidos skirtos transportuoti savitaka požeminius vandenis ir buitinius skysčius, neagresyvius gelžbetoniui ir vamzdžių sandarikliams. Vamzdžiai skirti kloti požeminėse iškasose. Hermetiškumui užtikrinti sujungimo vietoje naudojamos guminės tarpinės. Vamzdžiai gaminami pagal EN 1916 "Betono, plienpluosčio betono ir gelžbetoniniai vamzdžiai ir jungtys" standarto reikalavimus. Pralaidoms naudojamos 2,5 m, 5,0 m ilgio movinės sekcijos.

Pralaidos išilginis nuolydis ne mažesnis kaip 0,2 ‰ ir ne didesnis kaip 2 ‰. Pralaidų sekcijos dengiamos dviem bituminės emulsijos arba bitumo sluoksniais:

- kai sekcijos klojamos ant žvyro mišinio 0/32 pamato – 80 proc. sekcijų paviršiaus ploto;
- kai sekcijos klojamos ant gelžbetoninių pamatų blokų, sekcijų hidroizoliacija rengiama iki pamatų blokų ir pratęsiama ant šių blokų šoninių sienų.

Pralaidų sekcijų movinių sandūrų vietose rengiama bituminės emulsijos arba bitumo dviejų sluoksnių hidroizoliacija su polimeriniu audiniu. Vandens pralaidoms apsaugoti nuo transporto neigiamo poveikio užpilamo grunto sluoksnio storis nuo pralaidos viršaus iki kelio dangos viršaus turi būti ne mažesnis kaip 0,5 m. Pylimo šlaitų tvirtinimui naudojami akmenys ant betono C20/25 pagrindo. Įtekamieji ir ištekamieji grioviai tvirtinami žvyro (dolomito) 22/32 frakcijų skalda.



3 pav. Metalinės pralaidos vamzdis

Šaltinis: *Kauno gelžbetonis*. Prieiga per internetą <https://www.mediakatalogas.lt>

Alternatyvių atitvarų parinkimo vertinimo rodikliai ir jų reikšmių bei reikšmingumo skaičiavimas

Objektyvius sprendimus dėl projekto tinkamumo ir efektyvumo galima gauti taikant rodiklių sistemas, tenkinančias vykdytojų, vartotojų bei kontroliuojančių subjektų bei kitų suinteresuotų grupių poreikius (Lazauskas, 2015). Atsižvelgiant į tai sudaroma vertinimo kriterijų sistema alternatyviems inžineriniams sprendimams vertinti. Vertinimui parinkti 4 vertinimo kriterijai. Pralaidų alternatyvių sprendimų vertinimui sudaryta tokia vertinimo kriterijų sistema :

Pralaidos kaina (K1), EUR/m - tai kriterijus, parodantis 1m gaminio kainą. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimtos, remiantis gamintojų informacija ([Viskas namams](#); [www.viacon.lt](http://www.viacon.lt;)).

Darbo sąnaudos (K2), žm.val./m- tai kriterijus, parodantis darbo sąnaudas, reikalingas 1m pralaidos įrengimui. Kriterijaus skaitinės reikšmės nustatytos, remiantis gamybiniais normatyvais (Medelienė, 2022).

Mechanizmų darbo sąnaudos (K3), maš.val./m - parodo kiek laiko pralaidos įrengimo procese dirba mechanizmas. Skaitinės vertės paimtos remiantis gamybiniais normatyvais (Medelienė, 2022).

Pralaidos masė (K4), kg/m – kriterijus, parodantis perdangos plokštės 1m² masę. Skaitinė vertė paimta iš gaminio techninių charakteristikų ([Viskas namams](#); [www.viacon.lt](http://www.viacon.lt;)).

Darbo sudėtingumas (K5), kategorija. Skaitinės vertės paimtos remiantis gamybiniais normatyvais (Medelienė, 2022).

2 lentelė

Kriterijų skaitinės reikšmės

Kriterijai Perdangų variantai	Kaina, (EUR/m) K1	Darbų atlikimo laikas (žm.val./m) K2	Mechanizmų darbo sąnaudos (maš.val/m) K3	Pralaidos masė (kg/m) K4	Darbo sudėtingumas, kategorija K5
Plastikinė pralaida (A1)	224	0,70	0,13	44,8	3,6
Metalinė pralaida (A2)	240	0,78	0,35	59,6	4,0
Gelžbetoninė pralaida (A3)	167	1,14	0,24	1040	3,5

Šaltinis: Sudaryta autorių

Alternatyvių atitvarų parinkimo vertinimas, taikant daigiakriterinį naudingumo vertės metodą. Vertinimo kriterijų teorinis reikšmingumas nustatomas tokia seka: Remiantis 2 lentelėje pateiktomis kriterijų skaitinėmis reikšmėmis, sudaroma pradinė duomenų matrica P. 2. Atliekama pradinė duomenų matricos normalizavimą į bedimensinių dydžių matricą P. 3 Nustatomas kiekvieno kriterijaus Entropijos lygis. 4. Nustatyti kiekvieno kriterijaus kitimo lygis. 5. Apskaičiuojamas kriterijų teorinis reikšmingumas, sudaroma kriterijų prioritetų eilutė. 6. Skaičiavimo rezultatai pavaizduojami grafiškai ir pateikiamas jų apibendrinimas.

Remiantis 2 lentelėje pateikta informacija, paruošiami skaičiavimui duomenys, sudarant pradinę duomenų matricą P (3 lentelė).

3 lentelė

Pradinė duomenų matrica

Matrica P					
Kriterijai Variantai	K1	K2	K3	K4	K5
A1	224	0,70	0,13	44,8	3,6
A2	240	0,78	0,35	59,6	4,0
A3	167	1,14	0,24	1040	3,5
ΣX_{ij}	631	2,62	0,72	1144,4	11,1

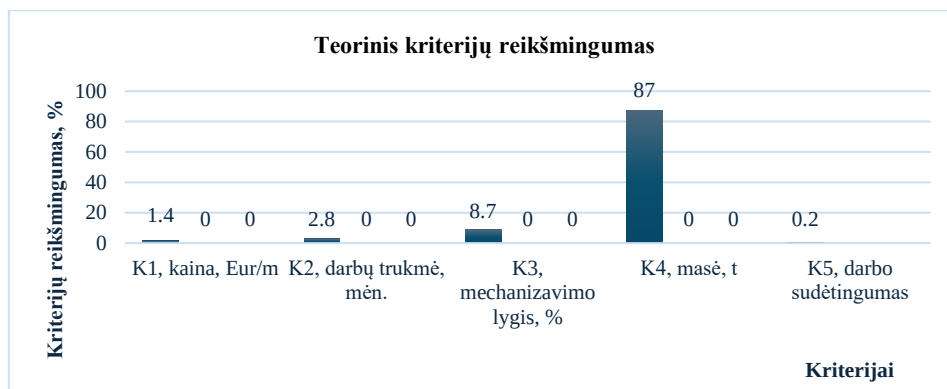
Šaltinis: Sudaryta autorių

4 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės

Matrica $\bar{P}$					
Kriterijai Variantai	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,3550	0,2672	0,1805	0,0391	0,3243
A2	0,3803	0,2977	0,4861	0,0521	0,3604
A3	0,2646	0,4351	0,3333	0,9088	0,3153

Šaltinis: Sudaryta autorių



4 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Apskaičiavus teorinį kriterijų reikšmingumą nustatyta, kad didžiausią įtaką turi pralaidos masė (87%). Atliekant daugiakriterinį alternatyvių projektinių sprendimų vertinimą, skaičiavimai atliekami tokia seka:

5 lentelė

Pradiniai duomenys skaičiavimui ir optimalios reikšmės

Matrica P				Kriterijų optimalumas (min ar max)	Geriausia reikšmė
Kriterijai \ Alternatyvos	A1	A2	A3		
K1	224	240	167	min	167
K2	0,7	0,78	1,14	min	0,7
K3	0,13	0,35	0,24	min	0,13
K4	44,8	59,6	1040	min	44,8
K5	3,6	4,0	3,5	min	3,5

Šaltinis: Sudaryta autorių

6 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės

Matrica P̄			
Alternatyvos \ Kriterijai	A1	A2	A3
K ₁	0,75	0,70	1
K ₂	1	0,90	0,61
K ₃	1	0,37	0,54
K ₄	1	0,75	0,04
K ₅	0,97	0,88	1

Šaltinis: Sudaryta autorių

Pasirenkama vertinimo skalė, pvz., [0;10], [0;100] ir didžiausiai normalizuotos matricos kriterijaus reikšmei (6 lentelė) priskiriama maksimali vertinimo skalės reikšmė. Pvz.: 1→100. Kitos normalizuotos kriterijų reikšmės apskaičiuojamos pagal proporciją. Pvz.: 0,85→85, 0,72→72 ir t.t. Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą C_{ij} (7 lentelė).

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai, ir užrašoma inžinerinių sprendimų prioritetų eilutė. Geriausias inžinerinis sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. surenka didžiausią balų sumą.

7 lentelė

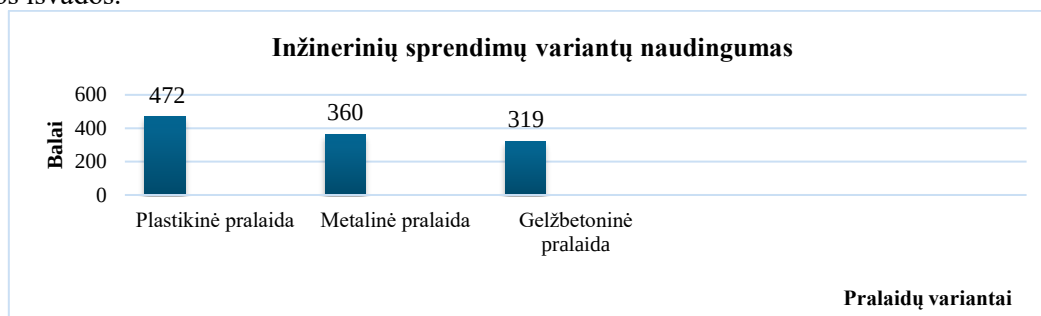
Kriterijų naudingumas (balais)

Matrica C			
Alternatyvos \ Kriterijai	A1	A2	A3
K ₁	75	70	100
K ₂	100	90	61
K ₃	100	37	54

Matrica C			
Alternatyvos	A1	A2	A3
Kriterijai			
K ₄	100	75	4
K ₅	97	88	100
Σ	472	360	319

Šaltinis: Sudaryta autorių

Sudaroma alternatyvių kelio tiesimo variantų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados.



5 pav. Inžinerinių sprendimų variantų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: Sudaryta autorių

Įvertinant kad visi kriterijai yra vienodi, geriausias pralaidų pasirinkimo variantas – plastikinė pralaida.

Pagal ekspertų sudarytą eilutę apskaičiuotas kriterijų subjektyvus reikšmingumas q , naudojant ekspertinį porinio palyginimo metodą. Norint įvertinti šį reikšmingumą, apskaičiuojamos kriterijų vertės balais, kurie ir atspindėtų subjektyvaus reikšmingumo įvertinimą.

8 lentelė

Kriterijų naudingumas, įvertinus subjektyvų reikšmingumą

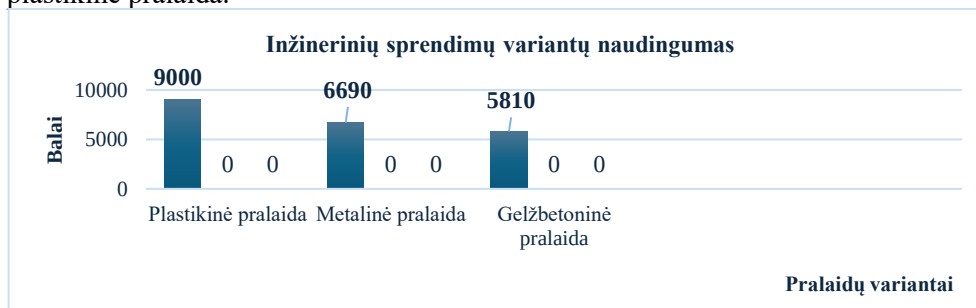
Kriterijai	Kriterijų subjektyvus reikšmingumas q , %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$		
		A1	A2	A3
K1	40	3000	2800	4000
K2	10	1000	900	610
K3	20	2000	740	1080
K4	30	3000	2250	120
K5	0	0	0	0
Σ		9000	6690	5810

Šaltinis: Sudaryta autorių

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir nustatomas racionalus inžinerinis sprendimas, kai įvertintas kriterijų subjektyvus reikšmingumas. Priimamas tas sprendinys, kurio surinktų balų suma yra didžiausia. Sudaroma sprendimų prioritetų eilutė. Visų skaičiavimų rezultatai pavaizduojami grafiškai ir pateikiamos išvados.

Grafinio rezultatų vaizdavimo ir kelio tiesimo variantų naudingumo prioritetų eilutės pavyzdys ir grafinis vaizdas pateikti 6 paveiksle.

Įvertinus subjektyvų reikšmingumą, nustatyta, kad geriausias pralaidos parinkimo inžinerinis sprendinys yra plastikinė pralaida.



6 pav. Inžinerinių sprendimų variantų naudingumas, kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: Sudaryta autorių

Analogiškai nustatomas racionalus sprendimas, kai įvertintas teorinis reikšmingumas, kurio reikšmės apskaičiuotos matematiškai.

Tam tikslui sudaroma svertinė matrica $\bar{C} * \bar{q}_t$, kiekviena kriterijaus reikšmė (balais) (7 lentelė) dauginama iš kriterijaus subjektyvaus reikšmingumo (cij x qj). Gautos reikšmės surašomos į naują matricą (9 lentelė).

9 lentelė

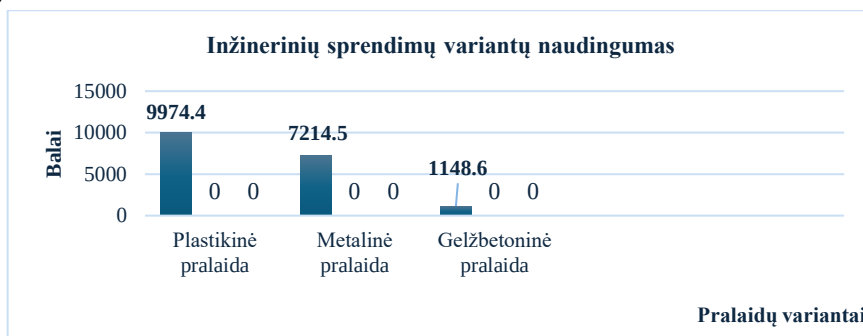
Kriterijų naudingumas, įvertinus teorinį kriterijų reikšmingumą

Kriterijai	Kriterijų teorinis reikšmingumas $\bar{q}_t, \%$	Matrica $\bar{C} * \bar{q}_t$		
		A1	A2	A3
K1	1,4	105	98	140
K2	2,8	280	252	170,8
K3	8,7	870	321,9	469,8
K4	87	8700	6525	348
K5	0,2	19,4	17,6	20
Σ		9974,4	7214,5	1148,6

Šaltinis: Sudaryta autorių

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir nustatomas racionalus inžinerinis sprendimas, kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas. Visų skaičiavimų rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados (7 pav.).

A1 > A2 > A3



7 pav. Inžinerinių sprendimų variantų naudingumas, kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: Sudaryta autorių

Neįvertinus kriterijų reikšmingumo, nustatyta, kad geriausias pralaidos įrengimo inžinerinis sprendimas- plastikinė pralaida.

Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą bei teorinį kriterijų reikšmingumą kur buvo parinkti svarbiausi kriterijai kaina bei masė, nustatyta, kad racionaliausias pralaidos įrengimo sprendimas tai pat - plastikinė pralaida.

Išvados

1. Identifikuojant alternatyvių kelio statinių (pralaidų) įrengimo sprendimų variantus buvo parinkti trys galimi variantai: plastikinė pralaida (A1), metalinė pralaida (A2), gelžbetoninė pralaida (A3).

2. Atlikus kelio statinių (pralaidų) įrengimo alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą, nustatyta, kad svarbiausi kriterijai yra K1 (Pralaidos kaina EUR/m) ir K4 (Pralaidos masė kg/m). Teorinis kriterijų reikšmingumas apskaičiuotas taikant teorinį Entropijos metodą. Naudojant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą ir kriterijų subjektyvų reikšmingumą, buvo nustatyta, jog racionaliausias kelio statinių (pralaidų) parinkimo konstrukcijų projektinis sprendimas yra A1, įrengiant plastikinę pralaidą.

Literatūra

1. Automobilių kelių vandens nuleidimo sistemų projektavimo taisyklės KPT VNS 16.
2. Automobilių keliai. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008. Patvirtintas 2008 m. sausio 9 d. įsakymu Nr. D1-11/3-3.
3. Automobilių kelių žemės darbų atlikimo ir žemės sankasos įrengimo taisyklės (IT ŽS 17). Patvirtintos 2017 m. balandžio 3 d. įsakymu Nr. V-111.
4. Jurkėnas M. (2022). Kelio pralaidų parametrų tyrimai. VDU.

5. Kelio statinių iš gofruotų metalo lakštų projektavimo ir statybos taisyklės T KSGI 14.
6. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Valstybinės reikšmės kelių priežiūra ir plėtra 2019–2035 metais [žiūrėta 2023 10 13]. Prieiga per internetą <https://bit.ly/2wsnPHt>
7. Lietuvos Respublikos kelių įstatymas. Įstatymas paskelbtas: Žin. 1995, Nr. 44-1076, i. k. 0951010ISTA000I-891 Nauja redakcija nuo 2002-10-23: Nr. IX-1113, 2002-10-03, Žin. 2002, Nr. 101-4492 (2002-10-23), i. k. 1021010ISTA0IX. Kelių įstatymo Nr. I-891 17 straipsnio pakeitimo įstatymas. Patvirtintas 2020 m. lapkričio 10 d. Nr. XIII-3421.
8. Lietuvos Respublikos vyriausybė. Nutarimas Dėl valstybinės eismo saugumo programos „vizija – nulis“ patvirtinimo. 2020 m. Kovo 18 d. Nr. 256.
9. OBEC Consulting Engineers. 2017. City of Tigard Strategic Bridge & Culvert Plan.
10. Statybos taisyklės ST 8871063.01:2002 Automobilių kelių apvalių gelžbetoninių vandens pralaidų kartotiniai konstrukciniai sprendiniai.
11. Statybos taisyklės ST 8871063.02:2003. Automobilių kelių stačiakampių gelžbetoninių vandens pralaidų kartotiniai konstrukciniai sprendiniai.
12. Statybos techninis reglamentas STR 1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“.
13. Statybos techninis reglamentas STR 1.12.06.2002 „Statinio naudojimo paskirtis ir gyvavimo trukmė“.
14. Statybos taisyklės ST 110788621.01:2006. Pecor ir Trenchcoat vamzdžių montavimo taisyklės.
15. Statybos taisyklės ST 188710638.07:2004. Automobilių kelių metalinių ir plastikinių vandens pralaidų kartotiniai konstrukciniai sprendiniai.
16. Šileikaitė, I. (2017). Daugiakriteris inovacijų vertinimo modelis statyboje ir jo taikymas. (Magistro darbas). VGTU. 104 p. [žiūrėta 2024 10 13] Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:22826293>.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS AND EVALUATION OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE INSTALLATION OF ROAD STRUCTURES (CULVERTS)

Summary

When designing and constructing roads, water drainage structures are often indispensable. Therefore, it is crucial to know how to properly select them as they are an important part of road infrastructure. When designing any structure, future technological processes are planned and designed; their efficiency and competitiveness are considered. It is important to assess engineering solutions comprehensively and systematically in order to rationally allocate the funds invested in any construction process. To determine the most suitable engineering solution for the installation of a road structure, an analysis of culvert installation and a multi-criteria evaluation were performed, considering the varying significance of the evaluation criteria.

VIETINIŲ ORGANINIŲ ŽALIAVŲ TVARIOJE STATYBOJE PANAUDOJIMO VERTINIMAS

Dainius Ramukevičius, Iveta Sokolovaitė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Pastartuoju metu pasaulyje pradėta aktyviai rūpintis atmosferos taršos mažinimu bei energetinių resursų tausoju. Statybos sektoriuje vis dar sunaudojama pakankamai daug tradicinių statybos produktų, gaunamų naudojant neatkuriamus gamtinius išteklius. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje dėl pastatų energinio naudingumo numatytos nuostatos skatina daugiau naudoti tvarias, vietoje gaunamas gamtines statybines medžiagas, kurios geba savyje kaupti anglies dioksidą. Tvarios medžiagos statybose yra esminis aspektas, siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir skatinti tvarų vystymąsi. Augalinės kilmės produkcijos gamybos ir perdirbimo metu gaunamos bioatliekos ir šalutiniai produktai, kaip žaliava galėtų būti naudojami tvarių statybinių medžiagų gamyboje. Bioatliekoms priskiriami grūdų šalutiniai produktai - šiaudai, kanapių pluošto perdirbimo atliekos ir kitos organinės kilmės medžiagos iš atsinaujinančių gamtos išteklių.

Straipsnyje apžvelgiama šiaudų, pluoštinių kanapių perdirbimo produktų panaudojimo galimybės tvarių statybinių medžiagų gamyboje, vertinama jų atitiktis, kaip statybos produktų darančių įtaką statinio esminiams reikalavimams.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Tvari statyba, atsinaujinantieji ištekliai, šiaudai, kanapių spalių betonas.

Išvadas

Pastatus galima įvardinti kaip medžiagų saugyklą, kurioje saugomi pagaminti produktai, per visą jų gyvavimo laikotarpį. Pastato konstrukcijų bei statybinių medžiagų parinkimas laikomas turinčiu didelę įtaką šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiui. Europos Sąjungoje (ES) esantiems pastatams tenka apie 50 % išgaunamų ir suvartojamų išteklių ir dėl jų kasmet susidaro daugiau kaip 30% visų atliekų. Be to, pastatams tenka 40 % viso ES suvartojamos energijos kiekio ir 25% vandens, išskiria net apie 36% visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Du trečdaliai pastatams šildyti ir vėsinti naudojamos energijos vis dar gaunama iš iškastinio kuro (Europos Žalioji Kursas, 2023).

Pastartuoju metu Europoje pradėta kalbėti apie tvaresnį statybų sektorių. Tvarus ekonomikos augimas yra vienas iš pagrindinių ES tikslų. Sparčios klimato kaitos ir didėjančio energijos ir išteklių poreikio sąlygomis ES yra numačiusi daug įvairių politikos priemonių ir iniciatyvų, kuriomis siekiama užtikrinti tvarų vartojimą ir gamybą. Pagal Europos žaliąjį kursą ir visų pirma naująjį Žiedinės ekonomikos veiksmų planą paskelbta tvarių gaminių politikos teisėkūros iniciatyva, kuria siekiama užtikrinti, kad gaminiai būtų pritaikyti neutralaus poveikio klimatui, efektyvaus išteklių naudojimo ir žiedinės ekonomikos reikmėms.

Įgyvendinant Paryžiaus susitarimą, ES narės nubrėžė aiškią ateities perspektyvą perskelbdamos Europos žaliąjį kursą. Europos žaliasis kursas – suformuotas politikos iniciatyvų rinkinys, kuriuo padedama vykdyti **žaliąją pertvarką ir iki 2050 m.** numatyta užtikrinti **poveikio klimatui neutralumą** (Europos Žalioji Kursas, 2023). Europos žaliojo kurso tikslas – sukurti naujas neutralizuoto poveikio klimatui produktų rinkas. Siekiant susitarime numatytų tikslų, statybos sektorius yra kartinė sritis. Natūralios aplinkos kūrimas, pirmiausia siejasi su tvaresniu statybos sektoriumi. Žaliajame kurse išskiriami tokie aspektai, kaip CO2 emisijos paskaičiavimas viso pastato eksploatavimo laikotarpiu. Taip pat svarbus dėmesys skiriamas medžiagoms, iš kurių pastatyti pastatai, perdirbimui ir pakartotiniam naudojimui, pastatų modernizacijai ir jos skatinimui. Veiksmų plane pateikiama įvairių priemonių, pagrindinis akcentas – nauja tvarių gaminių politikos sistema, kuri nustatys visų produktų tvarumo principus.

Darbo tikslas – įvertinti vietinių organinių žaliavų šiaudų, pluoštinių kanapių panaudojimą statybose, jų atitiktį esminiams reikalavimams, kurie taikomi statybos produktams.

Darbo uždaviniai:

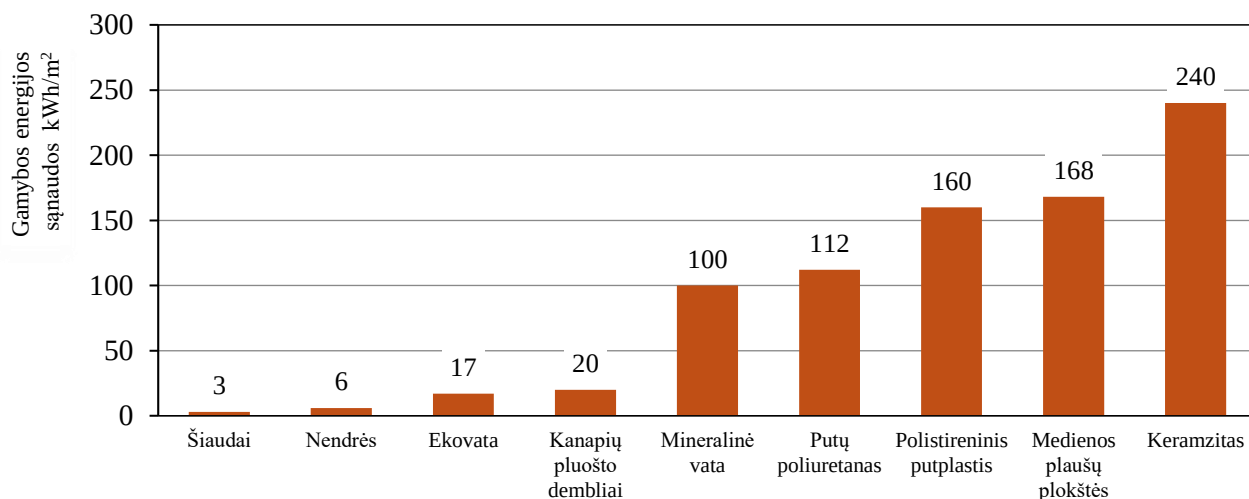
- atlikti literatūros apžvalgą apie vietinių organinių žaliavų panaudojimo galimybes statyboje;
- išanalizuoti statybos produktų kokybės vertinimo nuostatas ir reikalavimus keliamus statiniams;
- įvertinti medžiagų gaunamų kaip šalutiniai produktai panaudojimą statybinėms medžiagoms gaminti.

Literatūros apžvalga

Lietuvoje, kaip ir kitose Europos ES valstybėse narėse, pastatai suvartoja apie 40 proc. pirminės energijos ir yra vienas iš didžiausių šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo į atmosferą ir aplinkos taršos šaltinių. Lietuvoje pastatų statyboms vis dar sunaudojama pakankamai daug statybinių medžiagų, kurios sunaudoja daug energijos gamybai. Todėl švelninant poveikį klimato kaitai, spendžiant Pastatų energijos vartojimo efektyvumo didinimo ir energijos iš atsinaujinančių išteklių naudojimo skatinimo programų užduotis svarbu įvertinti alternatyvių statybinių medžiagų bei konstrukcijų panaudojimo galimybes. Kiekviena statybinė medžiaga turėtų būti nagrinėjama visą jos gamybos ir eksploatacijos ciklą. Inovatyvių technologijų taikymas ir aplinkai draugiškų statybinių medžiagų parinkimas pastatų konstrukcijoms turi tenkinti ne tik kaip

kokybiškos, stiprios ir prieinamos geromis kainomis, bet ir tvarios, gaminamos iš atsinaujinančių išteklių, apsaugančios aplinką nuo neigiamo poveikio – ypač mažinančios išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį.

Energijos sąnaudų poreikio statybinėms medžiagoms gaminti tyrimai atliekami įvairiose šalyse (Su et al., 2024). Analogiški tyrimai atliekami ir su į atmosferą patenkančiomis CO₂ dujomis (Isopescu et al. 2024; Adam et al., 2023). Moksliniais tyrimais nustatyta, kad energijos sąnaudų poreikis yra apie 8-10 GJ/m², kai daugiaaukščio pastato laikančiosioms konstrukcijoms naudojamas plienas, gelžbetonis. Kai vieno aukšto pastato konstrukcijoms naudojama mediena, energijos sąnaudų poreikis – 3 GJ/m² (Rauf, 2022; Schenk and Amiri, 2022). Galima teigti, kad naudojant medieną ir kitas organines medžiagas statybose, pastatai yra kur kas pranašesni už tradicinių konstrukcijų pastatus. Naudojant organines medžiagas būtų galima išvengti didelio kiekio iškastinio kuro naudojimo ir sumažinti anglies dvideginio išmetimą dėl medžiagų pakaitinio poveikio. Kai kurių šilumą izoliuojančių statybinių medžiagų gamybos energijos sąnaudų poreikis pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Šilumą izoliuojančių medžiagų gamybai reikalingos energijos sąnaudos, kai atitvaros šilumos perdavimo koeficientas yra $U = 0,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Šaltinis: sudaryta autorių

Norint pasiekti ES tvaraus augimo tikslų, reikalingos naujos žinios, technologijos, svarbu integruoti tvarias medžiagas, tame tarpe tokias, kurios gaunamos iš atsinaujinančių šaltinių, kas leistų sumažinti energijos poreikio priklausomybę nuo imlių energijai technologijų. Jeigu gelžbetonį ir plieną pakeistumėm atsinaujinančiais energijos ištekliais, tokiais kaip mediena ar kitomis organinės kilmės medžiagomis, būtų galima reikšmingai sumažinti pastatų poveikį aplinkai.

Kanadoje, Prancūzijoje, Airijoje (Daly et al., 2009), kaip ir daugelyje pasaulio šalių, siekiant statyti tvarius pastatus, dažnai naudojamos medžiagos pagamintos iš atsinaujinančių šaltinių arba perdirbtos. Aplinkos ministerijos parengtoje studijoje (Serapinas ir kt., 2024) apie atliktus tyrimus dėl CO₂ išmetamo kiekio statybose teigiama, kad naudojant statybose medieną ir gaminius iš organinės kilmės žaliavų, jų nauda aplinkai, per visą jų gyvavimo ciklą, lyginant su cementiniu betonu, išmetamo anglies dioksido (CO₂) kiekis gali sumažėti nuo 50 iki 75%, t.y. nuo 20 kgCO₂eq/m² betono atveju iki 5 kgCO₂eq/m² kryžmai sluoksniuotos medienos (CLT) atveju. Naudojant kanapių betoną, CO₂ kiekį galima sumažinti iki 16 kgCO₂eq/m² (Oh et al., 2023; Arehart et al., 2020).

Švedijoje, Vokietijoje vykdomos programos, kuriomis siekiama skatinti įmones inovatoriškai panaudoti medieną ir jos gaminius statant pastatus, t.y. siekiama kuo didesnio vietinės medienos naudojimo įvairių rūšių pastatų projektuose. Pavyzdžiui, kai kurios šalys yra nustačiusios medienos produktų suvartojimo statyboje tikslus ir skatina naudoti medieną komerciniuose pastatuose, aukštuose statiniuose bei sprendžiant seisminius projektavimo uždavinius (Serapinas ir kt., 2024).

Siekiant mažinti anglies dvideginio emisijas visame pasaulyje, statybinėms medžiagoms gaminti, galėtų būti panaudoti šaltiniai produktai, gaunami perdirbant žemės ūkio produktus. Kaip žaliava statybinėms medžiagoms gaminti, gali būti tinkami šiaudai, kanapių augalo dalys – spalviai ir smulkinti stiebai, kitos augalinės kilmės bioatliekos. Toks perdirbimas ir antrinis panaudojimas galėtų sumažinti išmetamą šiltnamio dujų kiekį ir tuo pačiu leistų paskatinti žemės ūkio bioatliekų perdirbimą kuriant papildomą vertę.

Šiaudų pakankamai daug lieka iškūlus rugius, kviečius ir kitas Lietuvoje auginamas grūdines kultūras. Šiaudai daugiausiai naudojami kaip pašaras, kraikas, mulčas, kuras. Lietuvos žemės ūkyje susidaro itin dideli organinių atliekų srautai – beveik 10 mln. tonų per metus. Iš jų apie 2,8-3,9 mln. t. sudaro šiaudai. Dabartiniu metu žemės ūkyje šiaudai dažnai paliekami laukuose tiesiog supūti, o vėliau apariami. Sumažėjus gyvulių skaičiui, pasikeitus gyvulių laikymo technologijoms, jų poreikis sumažėjo. Pateiktoje Europos biopramonės konsorciumo pristatytoje ataskaitoje (Mapping Lithuania's..., 2020) teigiama, kad daugiausiai yra sunaudojamos pačiuose ūkiuose, įterpiančios į dirvožemį jo gerinimo tikslais. Kadangi susidarantis atliekų kiekis yra didelis, dalį jų, galima būtų panaudoti kaip žaliavą gaminant bioetanolį, biodujas, statybos produktus, kitas pramonei reikalingas medžiagas.

Bioatliekų panaudojimo tyrimus atliekantys mokslininkai teigia, jog dabartiniu metu ūkininkus labiausiai domina biomasės panaudojimo sprendimai, kurie yra susiję su jų pačių veiklos sritimis, pvz., bioenergijos, reikalingos ūkyje, gamybai. Atlikus tyrimus nustatyta, kad siekiant užtikrinti biomasės panaudojimą aukštesnės pridėtinės vertės produktų gamybai, reikalinga sinergija tarp biomasės gamybos ir jos perdirbimo verslo bei mokslo sektoriaus atstovų (Mapping Lithuania's..., 2020).

Šiaudai statybose naudojami pakankamai seniai. Praeitame amžiuje Kanadoje, Jungtinėse valstijose, Europos kai kuriose šalyse, taip pat atokiose Norvegijos vietovėse šiaudai buvo naudojami pastatų statybose – sienų ir stogų konstrukcijose. Pastaruoju metu statybose šiaudai naudojami kaip šilumą ir garsą izoliuojanti konstrukcinė medžiaga. Šiaudų naudojimą pastatų statybai Lietuvoje iš esmės lėmė visame pasaulyje atliekami moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra, interneto žiniasklaida.

Pluoštinė kanapė – tai visoje Europoje auginamas kultūrinis augalas. Pluoštinės kanapės prisidedama prie Europos žaliojo kurso tikslų įgyvendinimo. Jos sugeria anglies dioksidą: vienas hektaras pluoštinių kanapių sugeria nuo 9 iki 15 tonų CO₂, t. y. panašiai tiek, kiek sugeria jaunas miškas, tačiau, priešingai nei jaunas miškas, pluoštinės kanapės užauga vos per penkis mėnesius.

Nuo 2015 m. pluoštinėms kanapėms auginti skirtas ES žemės plotas padidėjo nuo 20,54 tūkst. hektarų iki 33,02 tūkst. hektarų. Didžiausia pluoštinių kanapių augintoja yra Prancūzija (šioje šalyje išauginama daugiau kaip 60 proc. visoje ES išauginamų pluoštinių kanapių), toliau - Vokietija (17 proc.) ir Nyderlandai (5 proc.). 2013 m. Lietuvoje buvo priimtas Pluoštinių kanapių įstatymas, kuris įsigaliojo 2014 m. Lietuvoje auginamų pluoštinių kanapių mažėja: nuo 2019 iki 2023 metų deklaruoti pluoštinių kanapių plotai sumenko beveik 4 kartus.

Italijoje pluoštinių kanapių auginimas tapo legalus nuo 2017 m. pradžios. Viena iš Italijos regionų veikia žaliosios pramonės parkas, kuriame pasitelkiant industrinę simbiozę vienos įmonės likučiai tampa kitos įmonės ištekliais, ir taip gaminami kanapių biokompozitų produktai.

Statybose gali būti naudojami trys pagrindiniai pluoštinių kanapių pagrindu gaminami produktai: kanapių betonas, kanapių vata, izoliacinė kanapių pluošto plokštė. Iš kanapių stiebų gaunamas spalvai ir pluoštas. Spalvai gaunami perdirbant atsiklojęsčius stiebelius, o pluoštas – atskiriant nuo stiebo pluoštą. Kanapių pluoštas tinka šilumą izoliuojančios vatos gamybai.

Statybose, kaip statybos produktai, šiaudai ir pluoštinės kanapės dažniausiai naudojama karkasiniuose ir skydiniuose pastatuose. 2013 m. buvo atliktas techninis vertinimas UAB „Ecococon“ gaminamiems mediniams skydams su šiaudų užpildu. Šiaudai, kaip užpildas naudotas garsui ir šilumai izoliuoti. Šiam statybos produktui buvo parengta techninė specifikacija (NTĮ-01-061:2013). Lietuvoje pluoštinės kanapės, jų perdirbimo atliekos kaip statybos produktai ar jų sudedamoji dalis iki šiol nėra įteisinta. Viena iš priežasčių nulemianti mažą šios medžiagos naudojimą, atlikta nepakankamai tyrimų, kuriant pluoštinių kanapių pagrindu statybos produktus.

Darbo metodai

Produktai, naudojami statybai, pirmiausiai turi atitikti jų funkcinei paskirčiai keliamus reikalavimus arba atskirų medžiagų kombinacija turi tenkinti norminių dokumentų ir projektavimo normų reikalavimus.

Esminiai statinių reikalavimai, o taip pat pagrindinės statybos produktų charakteristikos apima tokias sritis:

- Mechaninis atsparumas ir pastovumas;
- Gaisrinė sauga;
- Higiena, sveikata ir aplinka;
- Sauga ir galimybė patekti į statinį naudojimo metu;
- Apsauga nuo triukšmo;
- Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas;
- Tvarus gamtos išteklių naudojimas.

Darniosios srities statybos produktai (statybos produktai, kuriems yra taikomi darnieji Europos standartai arba Europos vertinimo dokumentų pagrindu ir gamintojo iniciatyva parengti Europos techniniai įvertinimai) Lietuvos Respublikos, kaip ir bet kurios kitos ES šalies narės, rinkai nuo 2013 m. liepos 1 d. tiekiami vadovaujantis 2011 m. kovo 9 d. Europos Parlamento ir Tarybos reglamento Nr. 305/2011 reikalavimais. Reglamentu Nr. 305/2011 nustatomos statybos produktų pateikimo į rinką arba tiekimo rinkai sąlygos. Taip pat reglamentas nustato 7 esminius reikalavimus keliamus statiniams, t.y. nuostatomis siekiama įvykdyti esminius statinių reikalavimus, apibrėžiamos esminės charakteristikos.

Reglamentuojamų statybos produktų, kuriems nėra darniųjų techninių specifikacijų, eksploatacinių savybių pastovumo vertinimas ir tikrinimas atliekamas pagal Reglamentuojamų statybos produktų sąrašą nurodytas eksploatacinių savybių pastovumo vertinimo ir tikrinimo sistemas ir technines specifikacijas, vadovaujantis statybos techninio reglamento STR 1.01.04:2015 „Statybos produktų, neturinčių darniųjų techninių specifikacijų, eksploatacinių savybių pastovumo vertinimas, tikrinimas ir deklaravimas. Bandymų laboratorijų ir sertifikavimo įstaigų paskyrimas. Nacionaliniai techniniai įvertinimai ir techninio vertinimo įstaigų paskyrimas ir paskelbimas“.

Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“ yra vienas pagrindinių. Reikalavimas nustato, kad statinys, naudojant statybines medžiagas turi būti suprojektuotas ir pastatytas taip, kad statybos ir naudojimo metu galintys veikti poveikiai nesukeltų viso statinio ar jo dalies griūties, viršijančių leistinas ribas deformacijų, žalos statiniui, jo dalims, įrenginiams ir sumontuotai įrangai. Statybinėms konstrukcijoms medžiagos parenkamos įvertinant jų technines charakteristikas.

Gaisrinė saugos požūriui statinys turi būti projektuojamas taip, kad kilus gaisrui laikančiosios konstrukcijos tam tikrą laiką galėtų išlaikyti jas veikusias ir dėl gaisro atsiradusias apkrovas. Statybinės medžiagos turi būti parinktos, išdėstytos ir naudojamos taip, kad būtų apribotos kenksmingų arba pavojingų išgarų ar dujų plitimas, ypač jeigu kiltų gaisras. Lietuvoje privalomus gaisrinės saugos reikalavimus projektuojamiems ir statomiems pastatams reglamentuoja taisyklės „Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai“.

„Higienos, sveikatos ir aplinkos“ esminis statinio reikalavimas nustato, kad per visą statinio gyvavimo laikotarpį, viso būvio ciklo metu, nekiltų pavojus žmonių higienai, sveikatai ar gyvūnų saugai. Projektuojant, statant, eksploatuojant bei griauinant statinius turi būti atsižvelgta į visas pavojingas pasekmes, kurias gali sukelti toksiškų dujų, lakiųjų organinių junginių ir pavojingų medžiagų sukeliančių šiltnamio efektą išsiskyrimas į orą. Draudžiama išleisti pavojingas medžiagas į gruntinį vandenį, paviršinius ar požeminius vandenis, dirvožemio sluoksnį. Deginimo krosnių, įrenginių išmetamos dujos ir kietosios dalelės turi būti saugiai pašalinamos, turi būti tinkamai reguliuojamas, kietųjų arba skystųjų atliekų pašalinimas. Drėgmės atsiradimas konstrukcijose, jų paviršiuose taip pat yra nepageidaujamas poveikis, galintis turėti trumpalaikes ir ilgalaikes pasekmes.

Esminis statinio reikalavimas „Sauga ir galimybė patekti į statinį naudojimo metu“ nusako, kad statiniams turi būti parinktos medžiagos ir priimti konstrukciniai sprendimai tokie, kad per visą statinio gyvavimo laikotarpį būtų išvengta nelaimingų atsitikimų, pvz., kritimo, susidūrimo, paslydimo, sužalojimo dėl nudegimo. Taip pat reikalavimas susijęs su negalia turinčiais asmenimis. Pastatai projektuojami taip, kad užtikrintų saugų žmonių su negalia patekimą į pastatą, o pastato erdvės turi būti pritaikytos skirtingų amžiaus grupių ir specialiųjų poreikių turintiems žmonėms.

Apsaugos nuo triukšmo esminis statinio reikalavimas apibrėžia, kad statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad juose arba šalia jų būnančių žmonių girdimas triukšmas nevirsytų sveikatai pavojingo lygio, leistų jiems dirbti, ilsėtis bei miegoti patenkinamomis sąlygomis.

Šiais laikais ypač aktualu siekti efektyvesnio šilumos vartojimo ir energijos taupymo. Energijos taupymas ir vartojimo efektyvinimas yra labai svarbus aspektas orientuotas į išlaidų bei emisijų mažinimą. Atsižvelgiant į vietovės klimato sąlygas ir statinių naudotojų poreikius, vėsinimo, šildymo bei vėdinimo įrenginiai statiniuose turi būti projektuojami taip, kad juos naudojant energijos sąnaudos nebūtų didesnės už reikiamas.

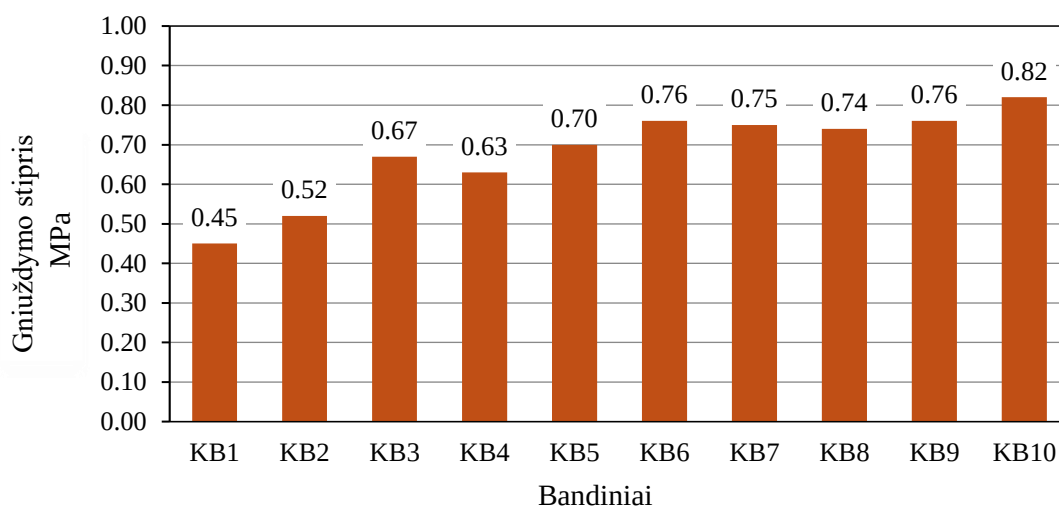
Esminis statinio reikalavimas „Tvarus gamtos išteklių naudojimas“ nusako, kad projektuojant statinius turėtų būti atsižvelgta į konstrukcijų, jų medžiagų perdirbamumą po nugriovimo, konstrukcijų patvarumą ir aplinkai nekenksmingų žaliavų ir antrinių medžiagų naudojimą statiniams. Pagal mokslininkus, tvarumas apibūdinamas įvairiais kriterijais, pvz., ar po medžiagų panaudojimo galima jas perdirbti, ar jos buvo pagamintos naudojant šalutinius produktus, atliekas ar gamybos metu naudoti atsinaujinantys energijos šaltiniai. Daugelyje pasaulio šalių vykdoma mokslo tiriamoji veikla, kurioje tyrimais įrodyta, kad antrinių medžiagų, kaip žaliavos naudojimas statybinėms medžiagoms gaminti, nėra nepavojingos aplinkai ir žmonių sveikatai.

Žemės ūkio produkcijos perdirbimo metu gaunamos bioatliekos šiaudų, pluoštinių kanapių kaip žaliavos panaudojimas statybinėms medžiagoms gaminti, vertintas pagal esminius reikalavimus keliamus statiniams.

Rezultatai ir jų aptarimas

Vertinant šiaudų, kanapių spalų betono panaudojimą pastatų konstrukcijoms esminio reikalavimo „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“ požiūriu yra svarbi medžiagos mechaninė savybė – stiprumas. Šiaudai dažniausiai naudojami kaip šilumą izoliuojanti medžiaga, užpildanti oro tarpus skydinių ir karkasinių pastatų konstrukcijose. Apkrovas šiuo atveju atlaiko pastato skeletas suformuotas dažniausiai naudojant medieną ir jos gaminius.

Pluoštinių kanapių perdirbimo produktai gali būti naudojami kaip užpildas gaminant konstrukcinius – termoizoliacinius betonus. Užsienyje atlikti tyrimai atskleidžia, kad įvairių sudėčių (skirtingo santykio tarp rišiklio ir užpildo kiekio) kanapių spalų betono stipris gniuždant yra nedidelis ir kinta nuo 0,02 iki 1,22 MPa. Gniuždymo stipris didėja, kai naudojamas rišiklis – magnezinis cementas (Zorica et al. 2022). Straipsnio autorių atlikti tyrimai rodo, kad kanapių spalų betono, kai santykis tarp rišiklio ir užpildo kiekio skirtingas ir rišamoji medžiaga negesintos kalkės, gniuždymo stipris kinta nuo 0,45 iki 0,74 MPa, o pakeitus rišamąją medžiagą 10 % cementu, stipris nežymiai padidėja iki 0,82 MPa (2 pav., bandiniai KB9 ir KB10). Kanapių spalų betono įvairių sudėčių bandinių gniuždymo stiprio reikšmės pateiktos 2 paveiksle.



2 pav. Kanapių spalų betono bandinių gniuždymo stiprio reikšmės

Saltinis: sudaryta autorių

Naudojant organinės kilmės medžiagas pastatų konstrukcijose, svarbu įvertinti gaisrinės saugos lygį. Pagrindinis statybinių medžiagų skiriamasis bruožas – ar medžiaga gali toliau perduoti ugnį, ar ne. Gaisrinė klasifikacija suteikia galimybę įvertinti, kokį pavojų gaisro požiūriu kelia naudojamos statybinės medžiagos. Gaminio degumo klasė parodo, ar gaminyje įtakoja gaisro išplitimui. Lietuvoje mokslininkų atlikti gaisriniai tyrimai su šiaudų skydais padengtais tinku parodė, kad bandinys atitinka B klasę, gaminyje nežymiai palaiko degimą, neužsiliepsnoja. Dėl dūmų tirštumo yra bandomos statybinės medžiagos, kurios klasifikuojamos nuo A2 iki D klasių. Yra trys dūmų tirštumo laipsniai – s1, s2 ir s3. Gaminiai, mažai arba visiškai neišskiriantys dūmų, priskiriami s1 klasei; gaminiai išskiriantys vidutinio tirštumo dūmus – s2 klasei; tuo tarpu gaminiai, išskiriantys daug dūmų, dėl kurių būna sunku išsigelbėti, priskirti s3 klasei. Tyrimai su šiaudų skydais padengtais tinku parodė, kad gaminyje priskirtas s1 klasei. Dėl liepsnojančių lašelių yra bandomos tik statybinės medžiagos nuo A2 iki E klasės. Šiuo požiūriu yra trys klasės: d0 – lašelių nebūna; d1 – lašelių gali būti, bet jie sudega greičiau kaip per 10 sekundžių; d2 – lašeliai dega ilgiau kaip 10 sekundžių. Vertinant medžiagų pavojingumą susidarančių liepsnojančių lašelių požiūriu, gaminyje priskirtas d0 klasei. Tokius gaminius galima naudoti įvairių pastatų statybose.

Mokslininkų atliktais gaisriniais bandymais nustatyta, kad netinkuoto kanapių spalų betono gaminyje atitinka C-s1, d0 degumo klasės statybos produktą. Kitų tyrėjų tyrimai rodo, kad priklausomai nuo sudėties, kai kurie kanapių spalų betono gaminiai priskirti B degumo klasei (Asghari and Memari, 2024).

Vertinant šiaudus, kaip statybos produktą esminio reikalavimo „Higiena, sveikata ir aplinka“ atveju, būtina įvertinti pelėsio ir kitų mikroorganizmų susidarymo galimybes šiauduose. Šiaudai turi daug organinių medžiagų, todėl perteklinė drėgmė sudaro sąlygas, skatinančias pelėsių ir kitų grybelių vystymąsi. Tyrimais nustatyta, jei drėgmė didesnė kaip 20 proc., susidaro sąlygos, skatinančios pelėsių, jo sporų vystymąsi, todėl itin svarbu užkirsti kelią drėgmės kaupimuisi šiauduose. Mokslinėje literatūroje nėra pakankamai duomenų, kad kanapių spalų betono sudėtyje yra kenksmingų medžiagų, kurios keltų pavojų sveikatai, supančiai

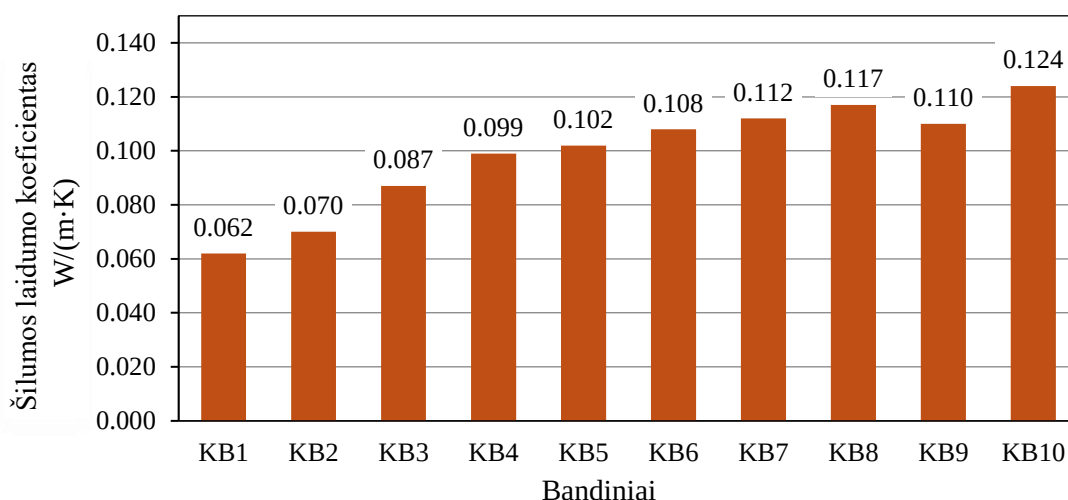
aplinkai. Parenkant tinką atitvaroms iš kanapių betono, būtina įvertinti jo laidumą garams: vidinis tinkas turi būti mažiau laidus nei išorinis.

Vertinant šiaudų, kanapių betono panaudojimą pastatams esminio reikalavimo „Sauga ir galimybė patekti į statinį naudojimo metu“ lygiu, medžiagų naudojimas konstrukcijoms nekelia rizikos saugai ir aplinkai.

Vertinant pastatų atitvarinių konstrukcijų atitiktį esminio reikalavimo „Apsauga nuo triukšmo“ požiūriu, pastatų atitvaros turi tenkinti Statinių akustines klases, jų atitinkamų rodiklių vertes. Tyrimais nustatyta, kad šiaudų sienos, padengtos tinko sluoksniu vidutinis garso izoliacijos rodiklis yra 55 dB. Lietuvoje gaminamų šiaudų skydų *garso izoliacijos rodiklio* vertė yra 54 dB. Dėl savo akytos ir pluoštinės struktūros, kanapų spalų betonas taip pat pakankamai gerai izoluoja garsą. Jungtinėje Karalystėje nustatyta, kad karkasinė siena su kanapių betonu sulaiko 57-58 dB triukšmą (Bevan and Woolley, 2008). Bandymais nustatyta, kad sienos iš kanapių betono blokelių, kurių storis 30 cm garso izoliacijos rodiklio vertė yra 50 dB. Galima teigti, kad sienos pagamintos iš kanapių spalų betono, pakankamai gerai izoluoja garsą ir gali būti naudojamos pastatų statybose.

Vertinant pastatų atitvarinių konstrukcijų atitiktį esminio reikalavimo „Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas“ lygiu, pastatai turi tenkinti energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo techninius rodiklius. Šilumą izoliuojančių gaminių energinis efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo šilumos laidumo koeficiento ir medžiagos sluoksnio storio atitvaroje. Mokslininkų (Vėjelienė ir Gailius, 2010) atliktais tyrimais nustatyta, kad 50-70 kg/m³ tankio šiaudų šilumos laidumo koeficiento vertė kinta nuo 0,041 iki 0,048 W/(m·K). Didėjant šiaudų tankiui nuo 50 kg/m³ iki 140 kg/m³, jų šilumos laidumo koeficientas padidėja 2,2 karto. Šilumos laidumo koeficiento reikšmės rodo, kad šiaudai yra efektyvi šilumą izoliuojanti medžiaga, kurios šilumos laidumas nežymiai skiriasi nuo plačiai naudojamų šilumą izoliuojančių medžiagų.

Literatūroje (Bevan and Woolley, 2008) nurodyta, kad pastatų atitvaroms gali būti naudojami kanapių spaliai kaip užpildas gaminant konstrukcinius-šilumą izoliuojančius betonų ir šilumą izoliuojančius betonų. Tiriant skirtingų sudėčių kanapių spalų betono savybes, kai rišamoji medžiaga negesintos kalkės, nustatyta, kad šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo tankio kinta nuo 0,062 iki 0,124 W/(m·K) (3 pav.). Norint pasiekti, kad betonas būtų ir termoizoliacinis, ir kartu konstrukcinis – būtinas pakankamai storas šių medžiagų sluoksnis.



3 pav. Kanapių spalų betono bandinių šilumos laidumo koeficiento reikšmės

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiaudai, pluoštinės kanapės, panaudoti kaip statybinės medžiagos ar kompozitai gaminiams gaminti labiausiai atitinka „Tvarus gamtos išteklių naudojimo“ esminį reikalavimą. Šiaudus kaip statybinę medžiagą žmonės pradėjo naudoti seniai, kai tik pradėjo statyti būstus. Tai gana patvari, vietinė atsinaujinančioji medžiaga. Šiaudų panaudojimas statybinėms medžiagoms gana paprastas, nebrangus, tam nereikia sudėtingos įrangos bei technologijos, o energijos sąnaudos gamybai pakankamai nedidelės, lyginant su kitomis statybinėmis medžiagomis (1 pav.). Vertinant kanapių spalų betono atitiktį esminiam reikalavimui, reikia paminėti, jog betone žymią masės dalį sudaro spaliai – natūrali medžiaga, kurių tonoje sukaupia apie 325 kg CO₂. Daugelyje mokslinių publikacijų teigiama, kad kanapių spalų betonas yra novatoriškas biokompozitas pagamintas iš pluoštinių kanapių stiebo spalų. Daugiausia naudojamas mediniuose karkasiniuose pastatuose

atitvaroms užpildyti arba pastatų mūrinėms sienoms apšiltinti. Vertinant betono poveikį aplinkai viso gyvavimo ciklo metu, šis biokompozitas priskirtas tvarių medžiagų grupei.

Išvados

1. Po atliktos literatūros apžvalgos nustatyta, kad augalinės kilmės žaliavos šiaudai, pluoštinių kanapių spaliai, naudojami kaip žaliava, gaminat statybines medžiagas. Tačiau Lietuvos rinkoje šių medžiagų, kaip žaliavos naudojimas gaminant statybos produktus kol kas nėra oficialiai įteisintas.

2. Šiaudų naudojimas šilumą izoliuojančių statybinių medžiagų gamyboje neprieštaruja esminiems statinio reikalavimams. Šiaudai pasižymi palyginti maža šilumos laidumo koeficiento verte ir nežymiai skiriasi nuo tradicinių šilumą izoliuojančių medžiagų.

3. Kanapių spalių betonas, kaip natūrali šilumą izoliuojanti medžiaga, gali būti naudojamas esamų pastatų apšiltinimui, tiek naujų pastatų statyboje, nes neprieštaruja esminiems su statinio sauga, naudojimu ar žmonių gerove susijusiems statinio reikalavimams. Labiausiai tinkamas naudoti skydinių ir karkasinių pastatų atitvarų statybose, kai susidariusias apkrovas atlaiko mediniai elementai.

4. Tvarioje statyboje ekologiškų, atsinaujinančių medžiagų panaudojimas, kurių gamybai reikia nedidelių energijos sąnaudų, yra svarbus siekiant sumažinti pramonės poveikį aplinkai.

Literatūra

1. Adam, L., Isopescu, D.N., Lepadatu, D. (2023). Experimental investigation of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes using design of experiment method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1283. Prieiga per internetą: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1283/1/012001/meta>>.
2. Arehart, J. H., Nelson, W. S., Srubar, W. V. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *Journal of Cleaner Production*, 266. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>>.
3. Asghari, N., Memari, A. M. (2024). State of the Art Review of Attributes and Mechanical Properties of Hempcrete. *Biomass (Basel, Switzerland)*, 4(1). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3390/biomass4010004>>.
4. Bevan, R., Woolley, T. (2008). Hemp Lime Construction: A guide to building with hemp lime composites. IHS BRE Press. Prieiga per internetą: <<https://courses.nus.edu.sg/course/bdgchemw/PF2302%20-%20Hemp%20Concrete/Appendix/Appendix.pdf>>.
5. Daly, P., Ronchetti, P., Woolley, T. (2009). Hemp lime bio-composite as a building material in Irish Construction. Environmental Protection Agency Ireland. Prieiga per internetą: <https://www.epa.ie/publications/research/waste/STRIVE_97_BESRAC_Summary_Findings.pdf>.
6. Europos Žaliosios Kursas: ES 2030 m. klimato tikslų įgyvendinimas. (2023). Luxembourg: Publications Office. Prieiga per internetą: <<https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/green-deal/>>.
7. Isopescu, D. N., Adam, L., Nistorac, A., Bodoga, A. (2024). Carbon footprint assessment: case studies for hemp-based eco-concrete masonry blocks. *Buildings*, 14(10). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3390/buildings14103150>>.
8. Mapping Lithuania's bio-based potential: Country report. (2020). Bio-based Industries Consortium. Prieiga per internetą: <<https://www.biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/publications/BIC-Country-Report-Lithuania-2020.pdf>>.
9. Rauf, A. (2022). Reducing life cycle embodied energy of residential buildings: Importance of building and material service life. *Buildings (Basel)*, 12(11). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3390/buildings12111821>>.
10. Oh, J.-W., Park, K.-S., Kim, H. S., Kim, I., Pang, S.-J., Ahn, K.-S., & Oh, J.-K. (2023). Comparative CO2 emissions of concrete and timber slabs with equivalent structural performance. *Energy and Buildings*, 281. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112768>>.
11. Schenk, D., Amiri, A. (2022). Life cycle energy analysis of residential wooden buildings versus concrete and steel buildings: A review. *Frontiers in Built Environment*, 8. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.975071>>.
12. Serapinas, P., Černiauskas, S., Sakalauskas, A., Kadziauskas, S. (2024). Medienos panaudojimas statyboje: studija. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Prieiga per internetą: <<https://am.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/2/CFsE03Gjq5M.pdf>>.
13. Su, Y., Jin, Q., Zhang, S., & He, S. (2024). A review on the energy in buildings: Current research focus and future development direction. *Heliyon*, 10(12). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32869>>.
14. Vėjelienė J., Gailius, A. (2010). Analysis of thermal insulation from renewable resources. *Engineering Structures and Technologies (Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas)*, 2(2). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.975071>><<https://doi.org/10.3846/skt.2010.09>>.
15. Zorica, J., Sinka, M., Sahmenko, G., Vitola, L., Korjakins, A., Bajare, D. (2022). Hemp biocomposite boards using improved magnesium oxychloride cement. *Energies (Basel)*, 15(19). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.3390/en15197320>>.

ASSESSING THE USE OF LOCAL ORGANIC RAW MATERIALS IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Summary

Recently, the world has begun to actively care about reducing atmospheric pollution and saving energy resources. The construction sector still uses a fairly large amount of traditional construction products obtained using non-renewable natural resources. The provisions of the Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings encourage the greater use of sustainable, locally obtained natural building materials that are able to store carbon dioxide. Sustainable materials in construction are an essential aspect in order to reduce the negative impact on the environment and promote sustainable development. By choosing the right materials, it is possible not only to reduce energy consumption, but also to improve the efficiency and durability of buildings. Biowaste and by-products obtained during the production and processing of plant-based products could be used as raw materials in the production of sustainable building materials. Biowaste includes grain by-products – straw, hemp fiber processing waste and other organic materials from renewable natural resources.

The article reviews the possibilities of using straw and fibrous hemp processing products in the production of sustainable building materials, and assesses their compliance as construction products that affect the essential requirements of a building.

DARNIOS STATYBOS SPRENDIMŲ TYRIMAI

SOCIALINĖS PASKIRTIES PASTATO NEVENTILIUOJAMO FASADO SERTIFIKUOTŲ ŠILTINIMO SISTEMŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Violeta Medelienė, Paulius Jankauskas
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Renkantis fasado apšiltinimo ir apdailos medžiagas labai dažnai manoma, kad lemiamas veiksnys yra kaina. Ir tai suprantama, nes fasadas yra viena iš didesnių investicijų tiek naujoje statyboje, tiek renovacijoje. Tačiau pasirinktos brangiausios medžiagos dar negarantuoja fasado kokybės ir ilgaamžiškumo. Todėl fasadų apšiltinimui būtina naudoti sertifikuotas sistemas, kuriose visos medžiagos yra suderintos bei išbandytos derinyje. Jos tolygiai reaguoja į drėgmę, karštį, šaltį ir t. t. Dėl šios priežasties fasadas tampa vienalytis, patvarus ir patikimas.

Gamintojai šiuo metu siūlo įvairius parengtus ir sertifikuotus šiltinimo sistemų derinius. Tačiau projektuotojams sunku iš pirmo žvilgsnio nuspręsti, kuri sistema efektyvesnė?

Šiame tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti sertifikuotas Lietuvos rinkai siūlomas neventiliuojamų fasadų šiltinimo sistemas, įvertinti jų prioritetiškumą ir nustatyti efektyvų variantą.

Straipsnyje išanalizuotos alternatyvios sertifikuotos neventiliuojamų fasadų sistemos, nustatyti aktualūs vertinimo rodikliai ir atliktas daugiatis vertinimas, nustatant analizuotų sistemų variantų prioritetiškumą ir efektyvų sprendinį. Vertinimo rezultatai leido nustatyti racionalų sertifikuotos neventiliuojamo fasado šiltinimo sistemos variantą, kuris vėliau panaudotas socialinės paskirties pastato projekte.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Sertifikuotos neventiliuojamo fasado sistemos, daugiakriterinė analizė, vertinimo rodikliai, teorinis reikšmingumas, subjektyvus reikšmingumas, daugiakriterinis vertinimas, sistemų prioritetiškumas.

Išvadas

Statybos praktikoje dažnai tenka susidurti su situacija, kad ką tik pastatytų, apšiltintų ir nutinkuotų pastatų fasadai jau būna suskilinėję. Šios bėdos neišvengia ir atnaujintų daugiabučių fasadai. Iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad šios problemos net neturėjo būti, nes fasadų apšiltinimui buvo naudotos kokybiškos medžiagos ir darbus atliko aukštos kvalifikacijos darbininkai. Dažniausiai tokios problemos atsiranda dėl fasado medžiagų nesuderinamumo, neteisingo jų pasirinkimo ar įrengimo instrukcijų ir technologijų nesilaikymo. Šių problemų padeda išvengti techninius liudijimus turinčių medžiagų sistemos ir aukšta darbų atlikimo kokybė (Kodėl būtina naudoti sertifikuotą fasadų šiltinimo sistemą?, 2024). Šiuo metu tokie reikalavimai jau įteisinti statybos reglamentuose.

Nuo 2022 metų įsigaliojo Statybos techninio reglamento STR 2.04.01:2018 „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys“ reikalavimas, kad pastatų fasadų projektavimui įrengimui galima naudoti tik šiltinimo sistemas, turinčias Europos techninį įvertinimą (ETI) ir paženklintas CE ženklu arba turinčias Nacionalinį techninį įvertinimą (NTI). Tai reiškia, kad projektuotojai turi naudoti tik turinčias ETI ir paženklintas CE ženklu arba turinčias NTI sistemas, už kurių patikimumą visiškai atsako tų sistemų tiekėjai (Vėdinamos fasadų šiltinimo sistemos nuo šiol- tik su nacionaliniais arba europiniais techniniais įvertinimais, 2023). Save ir klientą gerbiantys gamintojai siūlo ne tik sistemų medžiagas, bet ir pilną sisteminę dokumentaciją rezultatui pasiekti- sistemos montavimo vadovą, techninius mazgus, techninius atstovus, kurie, esant reikalui, teikia rekomendacijas dėl teisingo fasado įrengimo.

Atsižvelgiant į naujus keliamus reikalavimus, statybinių medžiagų rinkoje taip pat vyksta pokyčiai – didėja sertifikuotų fasadų šiltinimo sistemų pasiūla. Dėl to projektuotojai fasadų šiltinimo sistemas turi rinktis iš vis didėjančio alternatyvių variantų skaičius. Renkantis vienokią ar kitokią fasado šiltinimo sistemą, iš pirmo žvilgsnio sunku įvertinti pasirenkamos sistemos efektyvumą kitų siūlomų sistemų kontekste ir priimti tinkamą sprendimą.

Šiame tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti sertifikuotas Lietuvos rinkai siūlomas neventiliuojamų fasadų šiltinimo sistemas, įvertinti jų prioritetiškumą ir nustatyti efektyvų variantą.

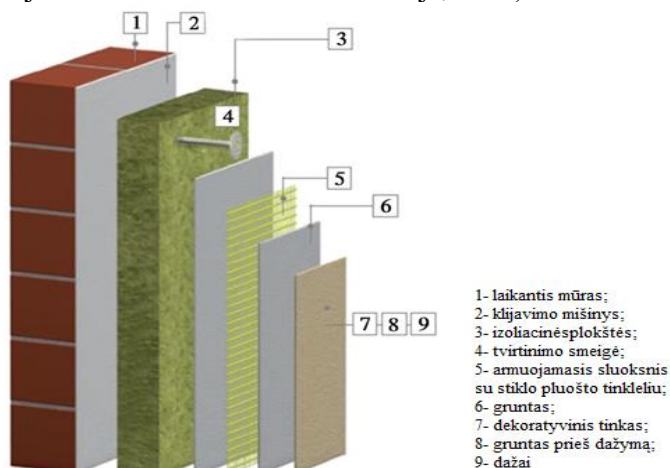
Tyrimo objektas- įvairių socialinių grupių pastatų sertifikuotos neventiliuojamų fasadų šiltinimo sistemos.

Tyrimo etapai ir metodai: vertinimas buvo atliekamas 4 etapais, kiekvienam etapui naudojant atitinkamus tyrimo metodus: 1 etapas- socialinių grupių pastatų sertifikuotų fasadų apšiltinimo sistemų variantų analizė ir atranka, naudojant informacijos šaltinių analizės metodą; 2 etapas- aktualių vertinimo aspektų nustatymas ir vertinimo kriterijų sistemos sudarymas, naudojant alternatyvių projektų analizės, ekspertinės apklausos metodus; 3 etapas- kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus; 4 etapas- sertifikuotų fasado apšiltinimo sistemų sprendinių prioritetiškumo nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Sertifikuotų neventiliuojamo fasado apšiltinimo sistemų variantų analizė

Išanalizavus informacijos šaltinius, teisinę dokumentaciją, tyrimui atrinktos keturios sertifikuotos neventiliuojamos fasadų apšiltinimo sistemos: ETIC SAKRET MW (A1), ETIC SAKRET EPS (A2), CERESIT CERETHERM IMPACTUM (A3), KNAUF WARM WAND KERAMIK (A4) (žiūr. 1 lentelę). Visos šios sistemos įrengiamos ant tokios pačios laikančios keraminių blokelių mūrinės konstrukcijos pagrindo, todėl ši dalis tyrime plačiau neanalizuojama.

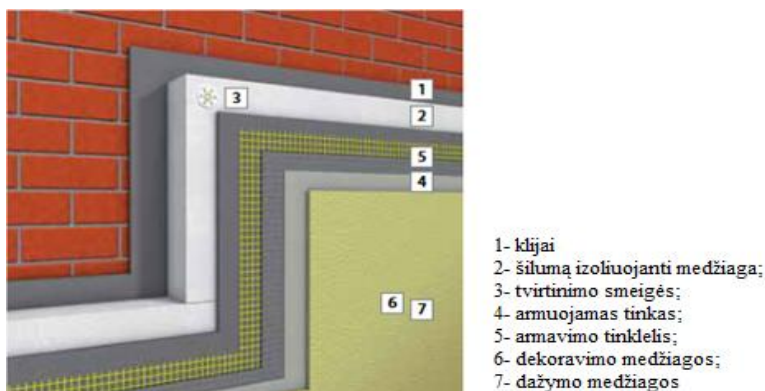
ETICS SAKRET MW fasado sistema (žiūr. 1 pav.) nėra vėdinama, tačiau naudojamos mineralinės vatos plokštės kaip termoizoliacija, kurios prie mūro klijuojamos klijais ir tvirtinamos smeigėmis. Naudojamas mineralinio armavimo skiedinys „BAK“, stiklo pluošto tinklelis, gruntas „SAKRET PG“, apdailos mineralinis tinkas „SAKRET SBP“. Dekoratyvinis tinkas „SAKRET SBP“ gali būti maišomas su mineraliniais „SAKRET“ pigmentais arba taip pat galima naudoti silikatinį gruntą „SAKRET KG G“ prieš dažymą, kuris dažomas silikatiniais dažais „SAKRET KS“. Reakcijos į ugnį klasė pagal EN13501-1, atitinka A2-s1,d0 klasę (Fasadų šiltinimo sistemų projektavimo ir montavimo instrukcija, 2020).



1 pav. ETICS SAKRET MW fasado sistema

Šaltinis: Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija. Prieiga per internetą: <https://sakret.lt/wp-content/uploads/2020/10/Fasadu-siltinimo-sistemu-SAKRET-ETICS-projektavimo-ir-montavimo-instrukcija.pdf>

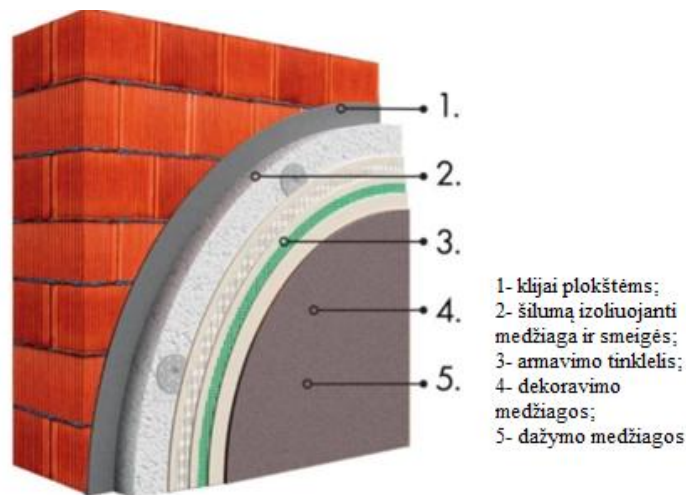
ETICS SAKRET EPS fasado sistemos (žiūr. 2 pav.) termoizoliacija įrengiama, klijuojant polistireninio putplasčio plokštės, kurios tvirtinamos smeigėmis. Naudojamas mineralinio armavimo skiedinys „BAK“, stiklo pluošto tinklelis, gruntas „SAKRET PG“, apdailos mineralinis tinkas „SAKRET MRP-E“, gruntas prieš dažymą „SAKRET FM G“, akriliniai dažai su siloksano priedu „SAKRET FM“ (žr. 1.2 pav.). Reakcijos į ugnį klasė pagal EN13501-1, atitinka B-s1,d0 klasę (Fasadų šiltinimo sistemų projektavimo ir montavimo instrukcija, 2020).



2 pav. ETICS SAKRET EPS fasado sistema

Šaltinis: Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija. Prieiga per internetą: <https://sakret.lt/wp-content/uploads/2020/10/Fasadu-siltinimo-sistemu-SAKRET-ETICS-projektavimo-ir-montavimo-instrukcija.pdf>

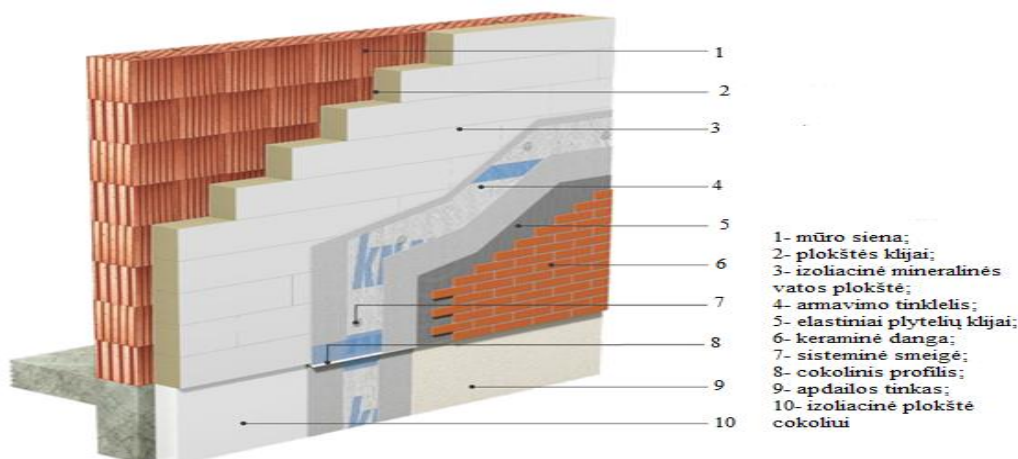
CERESIT CERETHERM IMPACTUM fasado sistema (žiūr. 3 pav.) pasižymi patvarumu ir apsauga nuo smūgių. Fasado sistema šiltinama polistireniniu putplasčiu, plokštės klijuojamos prie mūro ir tvirtinamos smeigėmis. Armavimo sluoksniui naudojamas elastingas dispersinis armuojamasis mišinys „Ceresit CT 100 IMPACTUM“ ir stiklo pluošto tinkleliai „Ceresit CT 325“, elastomerinis tinkas „Ceresit CT 79 ELASTOMERIC IMPACTUM“, elastomeriniai dažai „Ceresit CT 110 SOLAR PROTECT ELASTOMERIC“ (Ceresit fasado sistema, 2024).



3 pav. CERESIT CERETHERM IMPACTUM fasado sistema

Šaltinis: Ceresit fasado sistema „CERETHERM IMPACTUM. Prieiga per internetą: <https://www.ceresit.lt/pagrindinis-puslapis/sistemas/fasadu-sistema-etics/ceretherm-impactum.html>

Knauf WARM-WAND Keramik sistemos (žiūr. 4 pav.) izoliaciniam sluoksniui naudojamos mineralinės vatos plokštės, kurios tvirtinamos prie pagrindo klijais ir papildomai smeigėmis. Ant izoliacinio sluoksnio įrengiamas armavimo sluoksniu ir klijuojama keraminė danga. Klijavimo ir armavimo mišinys Knauf Klebepachtel M išsiskiria universalumu, skirtas izoliacinėms mineralinėms plokštėms klijuoti, armuoti ir glaistyti. Jame yra elastingumą, atsparumą vandeniui ir sukibimą gerinančių priedų. Knauf K4 cementiniai, elastingi plonasluoksniai plytelių klijai yra atsparūs šalčiui, šilumai, skirti nestabiliems pagrindams, tinka paviršiams, kuriuos veikia dideli temperatūros pokyčiai (Fasadų šiltinimas ir apdaila (Knauf), 2024).



4 pav. Knauf WARM-WAND Keramik “ fasado sistema

Šaltinis: „Knauf“ fasadų šiltinimo sistema su keramine danga.

Prieiga per internetą: <https://knauf.com/lt-LT/pagrindinis/prodaktu-naudojimas/fasadu-medziagos/fasadu-siltinimas-apdaila>

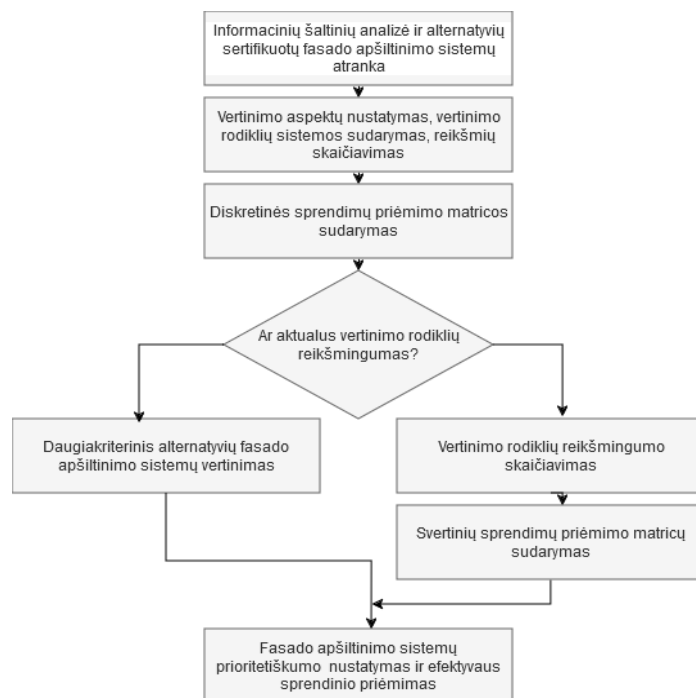
Efektyvaus sertifikuotų neventiliuojamo fasado apšiltinimo sistemų varianto nustatymas

Statybos procese taikomų projektinių sprendimų įvertinimo tikslas, naudojant sistemotechninės analizės metodus – perdirbti vertinimo rodiklių sistemos pavidalu pateiktą pradinę informaciją, kuri taip charakterizuoja lyginamus variantus, kad galima išrinkti geriausią arba sudaryti jų prioritetiškumo eilę. Laikoma, kad alternatyvūs projektiniai sprendimai yra daugiataksliai, t.y. juos apibūdina skirtingų matavimo

vienetų rodiklių reikšmių kompleksas (vektorius), siekiantis tenkinti daugelio suinteresuotų grupių (užsakovo, rangovo, projektuotojo, naudotojo ir kt.) siekiamus tikslus, kurie išreiškiami vertinimo rodiklių sistema (Zavadskas ir kt., 2001).

Daugiatikslių metodų kūrimą, taikymo galimybes įvairiems statybos inžinerinių sprendimų kompleksinio vertinimo uždaviniams spręsti detalai savo darbuose analizavo E.K. Zavadskas, A. Kaklauskas, L. Simanauškas, V. Šarka, N. Banaitienė ir kt. (Zavadskas ir kt., 1999; 2001; 2015; Šarka, 2008; Banaitienė ir kt., 2004; Turskis ir kt., 2019). Moksliniuose darbuose šių metodų taikymą ir problematiką nagrinėjo Ogrodnik K., Sanchez- Garrido (Ogrodnik, 2019; Sanchez-Garrido, 2022), Tan Tan, Mills G. ir kt. (Tan Tan ir kt., 2021), P. Malinauskas, D. Kalibatas, Turskis Z. (Kalibatas ir kt., 2008), Medelienė V. (Medelienė, 2023) ir daugelis kitų.

Šiame tyrime efektyviam neventiliuojamo fasado sertifikuotų apšiltinimo sistemų efektyvaus varianto nustatymas vykdytas pagal 5 pav. pateiktą algoritmą.



5 pav. Fasado apšiltinimo sistemų vertinimo algoritmas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Pastato fasado apšiltinimo sistema turi būti atspari ugniai, atlaikyti įvairius mechaninius poveikius, pasižymėti atsparumo šalčiui savybėmis, nesudėtinga paviršiaus priežiūra bei pasižymėti geru kainos ir kokybės santykiu. Todėl tyrime išorinių sienų sprendinių vertinimui parinkti penki vertinimo rodikliai, geriausiai atitinkantys apšiltinimo sistemų vertinimui keliamus tikslus.

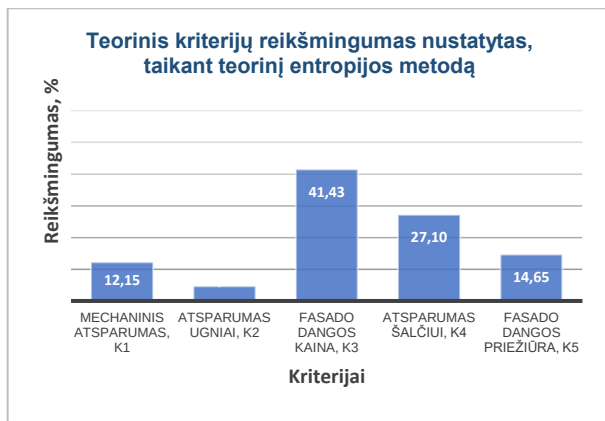
Tyrimo metu gautos rodiklių skaitinės reikšmės pateiktos 1-oje lentelėje.

1 lentelė

Vertinimo rodiklių skaitinės reikšmės						
Variantai	Rodikliai	K1	K2	K3	K4	K5
ETICS SAKRET MW“ (A1)		1	3	5,83	35	1
ETICS SAKRET EPS“ (A2)		1	2	7,96	35	2
CERESIT CERETHERM IMPACTUM (A3)		2	2	15,10	40	2
Knauf WARM-WAND KERAMIK (A4)		1	3	29,38	100	3

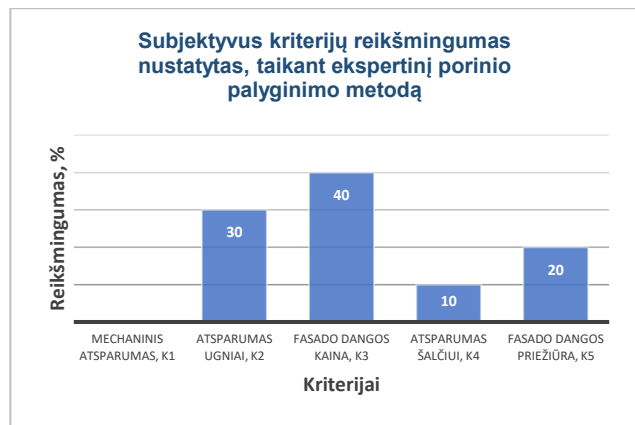
Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimo rodiklių reikšmingumui skaičiuoti taikyti teorinis Entropijos metodas (Zavadskas ir kt., 1996: 68-73; Zavadskas ir kt., 2001:139-141) ir ekspertinis porinio palyginimo metodas (Zavadskas ir kt., 1996: 43-56; Zavadskas ir kt., 1999: 124-127). Vertinimo rodiklių reikšmingumo skaičiavimo rezultatai pateikti 6,7 pav.



6 pav. Teorinis vertinimo rodiklių reikšmingumas

Šaltinis: Sudaryta autorių



7 pav. Subjektyvus vertinimo rodiklių reikšmingumas

Šaltinis: Sudaryta autorių

Statybos praktikoje vienas iš daugiakriteriamų sprendinių vertinimui naudojamų metodų yra naudingumo vertės metodas. Naudojant šį metodą, atrenkamas tas projektinis sprendimas, kurio naudingumo vertė yra didžiausia (Zavadskas ir kt., 2001; 232-235). Taikant šį metodą, vertinimas atliekamas tokiais etapais: 1- sudaroma pradinė duomenų matrica; 2- nustatomas kiekvieno kriterijaus optimalumas; 3- atliekamas matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą; 4- pasirinkus vertinimo skalę, apskaičiuojamas kriterijų naudingumas balais ir sudaroma kriterijų naudingumo matrica; 5- kadangi apskaičiuoti teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai, sudaromos svartinės matricos ir nustatomas efektyvus išorinės sienos sprendinys (žiūr. 8 pav.).

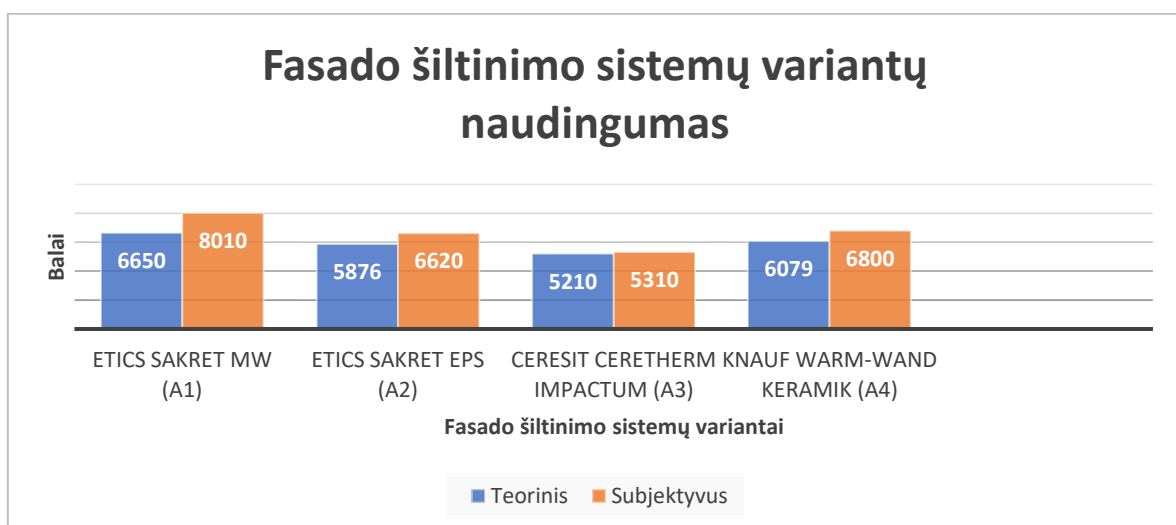
Fasado šiltinimo sistemų variantų rodiklių naudingumo skaičiavimo rezultatai pateikti 2-oje lentelėje.

2 lentelė

Rodiklių naudingumas, įvertinus teorinį ir subjektyvų jų reikšmingumus

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}_t$				$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
19	1653	1444	1900	817	42	3654	3192	4200	1806
15	1500	750	900	1125	26	2600	1300	1560	1950
30	3000	1500	3000	990	21	2100	1050	2100	693
30	750	1500	3000	990	5	125	250	500	165
4	400	340	380	320	5	500	425	475	400
$\Sigma 100$	7303	5534	9180	4242	100	8979	6217	8835	5014

Šaltinis: sudaryta autorių



8 pav. Fasado šiltinimo sistemų variantų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus daugiakriterinį fasado šiltinimo sistemų variantų vertinimą, kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausi kriterijai- fasado dangos kaina (K3) ir atsparumas ugniai (K2), nustatytas racionalus fasado sistemos variantas yra ETICS SAKRET MW sistema (A1).
2. Apskaičiavus fasado šiltinimo sistemų variantų naudingumą, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą ir įvertintas teorinį kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai buvo sistemos kaina (K3) ir atsparumas šalčiui (K4), nustatyta, kad racionaliausia sistema yra taip pat ETICS SAKRET MW sistema (A1).
3. Apibendrinus daugiakriterinio vertinimo rezultatus galima teigti, kad efektyviausias fasado šiltinimo sistemos variantas socialinės paskirties pastato neventiliuojamo fasado šiltinimui yra sertifikuota ETICS SAKRET MW fasado šiltinimo sistema (A1).

Literatūra

1. Banaitienė N., Turskis Z. Decision support for the evaluation of building life cycle effectiveness. - *Technological and Economic Development of Economy* (Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas), Vol X, No 2. Vilnius: Technika, 2004, p. 57-66.
2. Cerasit CT 110 SOLAR PROTECT™ elastomeriniai fasado dažai.[interaktyvus]. 2024, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:< https://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/CT-110-TDS-LT-04_23
3. Cerasit CT 79 IMPACTUM™ elastomerinis tinkas.[interaktyvus]. 2024, [žiūrėta 2024-01-12].Prieiga per internetą:< <https://www.ceresit.lt/pagrindinis-puslapis/products/facade-solutions/facade-finishes/wet-plasters/ceresit-ct-79.html>
4. Cerasit fasado sistema „CERETHERM IMPACTUM“.[interaktyvus]. 2024, [žiūrėta 2024-01-12].Prieiga per internetą:< <https://www.ceresit.lt/pagrindinis-puslapis/sistemas/fasadu-sistema-etics/ceretherm-impactum.html>>
5. Ceresit Ceretherm šiltinimo sistemų montavimo vadovas.[interaktyvus]. 2018, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:<https://www.ceresit.lt/content/dam/uac/ceresit/lithuania/2018/Ceretherm%20paigaldusjuhend%2040lk%20LT.pdf>
6. Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija. [interaktyvus]. 2020, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:< <https://sakret.lt/wp-content/uploads/2020/10/Fasadu-siltinimo-sistemu-SAKRET-ETICS-projektavimo-ir-montavimo-instrukcija.pdf>
7. FELDHAUS KLINKER Klinkerinės plytelės.[interaktyvus]. 2024, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:< <https://feldhaus.lt/lt/feldhaus-klinker-klinkerines-plyteles-r991>>
8. Kalibatas D., Turskis Z. Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method.-*Information technology and Control*, 37(1), 2008, p.79-83.
9. Knauf® fasadų šiltinimo sistema su keramine danga.[interaktyvus]. 2020, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:https://mdbapi.knauf.com/v1/pdf_download.php?action=download&a=1631744&c=c77e98a020621d65fe5635e58e1385c4&p=g
10. Knauf Klebepachtel M™ klijavimo ir armavimo mišinys mineralinei vatai.[interaktyvus]. 2024, [žiūrėta 2024-01-12]. Prieiga per internetą:<https://www.knauf.lt/produktai-ir-sistemas/produktu-a-z/klebepachtel-m.html>
- Kodėl būtina naudoti sertifikuotą fasadų šiltinimo sistemą? (Statyba jums), [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.statybajums.lt/statyba/izoliacija-apsiltinimas-hidroizoliacija/kodel-butina-naudoti-sertifikuota-fasadu-siltinimo-sistema/>
11. Medelienė V. Sporto paskirties pastato stogą laikančių konstrukcijų ir denginių derinių racionalaus sprendinio nustatymas, taikant daugiakriterinį vertinimą ir rezultatų sintezę.- *Inžinerinės ir edukacinės technologijos* (Mokslinių straipsnių žurnalas), 2023 (2), p. 28-34, SSN 2029-9303, ISSN 2783-6215.
12. Nuo ko priklauso tinkuoto fasado kokybė? (ASA. Lt), [interaktyvus], 2024. Prieiga per internetą: <https://lt.allconstructions.com/straipsniai/42006-nuo-ko-priklauso-tinkuoto-fasado-kokybe>
13. Ogrodnik K. Multi-Criteria Analysis of Design Solutions in Architecture and Engineering: Review of Applications and a Case Study .- *Article in Buildings* 9(12), 2019. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/buildings9120244>
14. Sanchez-Garrido, A., Navarro, I.J., Yepes, V. Multi-criteria decision-making applied to the sustainability of building structures based on Modern Methods of Construction.- **Journal of Cleaner Production, Volume 330, 2022. Prieiga per internetą:** <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621039019>
15. Šarka V. Sprendimų paramos sistema statyboje taikant daugiakriterinius sintezės metodus: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 2008. 97p.
16. Šaučiuvėnas G., Šneideris A., Žurauskienė R., Statybos vadovas fasadai.- Vilnius: Super namai, 2019, 368 p. ISBN 9786099596099.
17. Tan Tan, Mills G, Papadonikolaki E., Zhening Liu. Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review [interaktyvus].- *Journal Automation in Construction*, Volume 121, 2021. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/vol/121/suppl/C>

18. Turskis Z., Urbonas K., Daniūnas A. A Hybrid Fuzzy Group Multi-Criteria Assessment of Structural Solutions of the Symmetric Frame Alternatives.- *Symmetry* 11(2), 2019. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/sym11020261>
19. Vėdinamos fasadų šiltinimo sistemos nuo šiol – tik su nacionaliniais arba europiniais techniniais įvertinimais [interaktyvus], [žiūrėta 2024 10 15], 2023. Prieiga per internetą: <https://www.nauji.lt/sugriežtejo-vedinamos-fasadu-siltinimo-sistemas-naudojimo-reikalavimai>
20. Zavadskas E., K., Antuchevičienė J., Kaplinski O. Multi-criteria decision making in Civil Engineering: Part i – a State-of-the-Art survey.-Article in Engineering Structures and Technologies, 2015 7 (3), p. 103-113. ISSN 2029-882X / eISSN 2029-8838
21. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A. Pastatų sistemotechninis įvertinimas.- Vilnius, Technika.1996, 280 p.
22. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
23. Zavadskas E.,K., Simanuskas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF CERTIFIED INSULATION SYSTEMS FOR THE UNVENTILATED FACADE OF A SOCIAL BUILDING

Summary

When selecting façade insulation and finishing materials, many people consider price to be the most important factor. This observation is justifiable, as the façade constitutes a substantial financial investment in both the construction of new buildings and the renovation of existing structures. However, opting for the most expensive materials does not always ensure the quality and durability of the façade. It is crucial to use certified systems for façade insulation, where all materials are carefully matched and tested together. This approach ensures that the materials respond uniformly to factors like humidity, heat, and cold, resulting in a façade that is homogeneous, durable, and reliable.

Manufacturers provide a diverse range of certified insulation systems; however, designers frequently encounter challenges in quickly assessing the relative effectiveness of these systems.

The goal of this study is to analyse the certified non-ventilated façade insulation systems available in the Lithuanian market, evaluate their significance, and identify effective solutions.

The paper examines various certified systems for unventilated façades, selecting relevant evaluation indicators and conducting a multi-purpose assessment and prioritisation of the examined options. The evaluation results identified a viable option for a certified non-ventilated façade insulation system, which was subsequently incorporated into the design of a social building.

SPORTO KOMPLEKSO LAIKANČIŲJŲ KONSTRUKCIJŲ – KOLONŲ– DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

Giedrius Kačinauskas, Jūratė Mockienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Svarbiausioji laikančioji karkaso - konstrukcinio pastato pagrindo - paskirtis - atlaikyti apkrovas, veikiančias pastatą, ir užtikrinti konstrukcijoms būtinas eksploatacines savybes visą pastato naudojimo laiką. Kolonos yra viena svarbiausių laikančiojo pastato karkaso konstrukcijų. Jos tipo ir tvirtinimo prie pamato būdo parinkimas yra labai svarbus. Taip gali būti priimtas greitas, tikslus, ir saugus kolonų montavimas. Siekiant nustatyti racionalų sporto komplekso laikančiosios konstrukcijos – kolonos - variantą, straipsnyje analizuojami keturi alternatyvūs kolonų sprendiniai. Jų įvertinimui naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas. Įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Gelžbetonio kolonos, plieninės kolonos, daugiakriterinė analizė, vertinimo rodikliai, teorinis reikšmingumas, subjektyvus reikšmingumas, naudingumo vertės metodas, racionalus sprendimas

Ivadas

Svarbiausioji laikančioji karkaso - konstrukcinio pastato pagrindo - paskirtis - atlaikyti apkrovas, veikiančias pastatą, ir užtikrinti konstrukcijoms būtinas eksploatacines savybes visą pastato naudojimo laiką. Taip pat svarbu užtikrinti erdvinį pastato karkaso standumą, kuris atspindinti jo gebėjimą priešintis galimoms deformacijoms (nusėdimams, išklupimams, pasislinkimams). Projektuojami ir statomi statiniai privalo maksimaliai atitikti LR Statybų įstatymą bei kitus statybą šalies teritorijoje reglamentuojančius teisės aktus. Statinys turi maksimaliai atitikti sanitarinių, technologinių, aplinkos apsaugos ir priešgaisrinių normų reikalavimus.

Kolonos yra viena svarbiausių laikančiojo pastato karkaso konstrukcijų. Jos tipo ir tvirtinimo prie pamato būdo parinkimas yra labai svarbus. Taip pat turi būti priimtas greitas, tikslus, ir – svarbiausia – saugus kolonų montavimas. Galutinė projekto sąmata susideda iš daugybės skirtingų veiksnių. Pastato kaina įprastai nustatoma atsižvelgiant į statinio plotą, gamybos ir surinkimo kaštus, numatomą projekto įgyvendinimo terminą, specifinius užsakovo pageidavimus ir kitus susijusius kriterijus. Visuomet turi būti siekiama pasiekti prieinamą kainą ir aukštą statinių kokybę.

Šiame tiriamajame darbe keliamas tikslas - išanalizuoti sporto paskirties pastato rėmo laikančiųjų konstrukcijų – kolonų variantus ir, atlikus daugiakriterinį vertinimą, nustatyti efektyvų sprendinį.

Tyrimo objektas – sporto paskirties pastato laikančiosios konstrukcijos – kolonos.

Sporto komplekso rėmo laikančiųjų konstrukcijų – kolonų - sprendinių vertinimas buvo atliekamas etapais, naudojant atitinkamus tyrimo metodus: sporto paskirties pastato kolonų variantų analizė ir atranka, naudojant informacijos šaltinių analizės metodą; aktualių vertinimo aspektų nustatymas, kriterijų sistemos sudarymas ir jų reikšmių skaičiavimas, naudojant alternatyvių projektų analizės, ekspertinės apklausos metodus; kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus; efektyvaus kolonų sprendinio nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Sporto komplekso laikančiųjų konstrukcijų – kolonų – sprendinių analizė

Analizuojami keturi sporto komplekso laikančiųjų konstrukcijų – kolonų - variantai: 1 – surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais; 2 – plieninės valcuoto profilio kolonos; 3 – monolitinės kolonos; 4 – surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios montuojamos lizdiniuose pamatuose.

Didelę dalį statybos procesų perkėlus į gamyklą statybos aikštelėje sumažėja gamtą teršiančių procesų. Atliekant konstrukcijų gamybos darbus gamykloje žymiai paprasčiau kontroliuoti aplinką teršiančių medžiagų išmetimą į aplinką. Dar vienas surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų pranašumas, palyginti su monolitinėmis konstrukcijomis, yra galimybė padidinti gelžbetoninių konstrukcijų kokybę. Tai leidžia taupyti statybines medžiagas, gamtinius išteklius, mažiau teršti aplinką.

Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais (A1).

Dažnai taikomas kolonos ir pamato jungimo mazgas naudojant inkarinius varžtus (arba strypus), kurie yra įbetonuojami pamate. Tai gana naujas jungimo būdas. Pagrindinės šio būdo naujovės – montavimo greitis ir standus kolonos ir pamato sujungimas. Tai ypač aktualu 1–3 aukštų pastatams. Kolonų minimalus skerspjūvis, reikalingas kolonos - sijos sujungimo detalėms įrengti yra 300 x 300 mm. Tokių matmenų kolonų

atsparumas ugniai yra 2 valandos. Gelžbetonio privalumas prieš kitas konstrukcijas yra geras ugniai atsparumo rodiklis, kuris įgalina naudoti gelžbetonio kolonas įvairios paskirties pastatams. (<http://www.betonika.lt/>)

1 lentelė

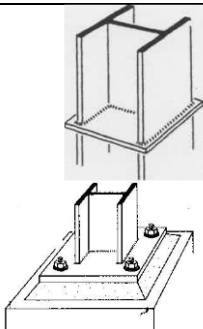
Techninė informacija apie variantą A1

Gamyba	Skerspjūvio forma	Jungimas	Montavimas	
Formuojama gamykloje	Stačiakampis, kvadratinis arba apvalus	Kolonas tarpusavyje yra jungiamos varžtinėmis jungtimis, inkaruotomis surenkamų elementų dalyse, arba naudojant nenutraukiamą armavimą jungties mazge.	Varžtinės jungtys užtikrina paprastą ir greitą statybų procesą – statybvietyje nebereikia nei laikinai paremti montuojamas kolonas, nei jas suvirinti. Koloną galima reguliuoti ją statant. Statybvietyje jos montuojamos ant inkarinių varžtų. Naudojant varžtines jungtis, kolona gali būti pastatoma į projektinę padėtį ir užveržiama per 5–10 minučių. Šiam darbui tereikia kranų ir dviejų darbininkų.	 Kolonos montavimas ant inkarinių varžtų (https://www.peikko.lt/)

Plieninės kolonos (A2). Plieninės pastatų kolonos yra pagrindinė plieninių konstrukcijų pastatų karkaso dalis. Plienui būdingas didelis stiprumas, lengvas svoris, geras bendras standumas ir stipris bei deformacinės savybės. Jis ypač tinkamas gaminti kolonas pastatams su dideliu tarpatramiu. Plieninė konstrukcija yra patvaresnė, lankstesnė ir tvirtesnė nei betono konstrukcija. Be to, plieninės kolonos paprastai yra lengvesnės ir greičiau statomos, nei betoninės. Kvadratinės arba stačiakampės kolonos gali būti užpildomos armatūra ir betonu. (<https://www.viritas.lt/metalo-konstrukciju-gamyba/metalines-kolonas>)

2 lentelė

Techninė informacija apie variantą A2

Gamyba	Skerspjūvio forma	Jungimas	Montavimas	
Pagaminiama gamykloje	Atvirų profilių (dvitėjų) arba uždarytų profilių (stačiakampio ar kvadratinio dežinio skerspjūvio)	Kolonas tarpusavyje jungiamos suvirinant arba suveržiamaisiais varžtais.	Kolona virinama prie pado plokštės, kuri keturiais inkariniais varžtais tvirtinama ant pamato viršaus arba standžiai sujungta su pamatu, įbetonuojant ar privirinant prie įdėtinės detalės. Viršuje prie kolonos virinama plokštė – galvena, ant kurios remiasi stogo laikančiosios konstrukcijos, kurios privirinamos arba prisukamos varžtais.	 Plieninės kolonos https://www.viritas.lt/metalo-konstrukciju-gamyba/metalines-kolonas

Monolitinės kolonos (A3). Monolitinės gelžbetonio kolonos – tai vienas iš optimaliausių sprendimų, kuris gali užtikrinti ilgaamžiškumą statinio pamatams bei karkasui. Siekiant užtikrinti reikalingą tikslumą, yra naudojami klojiniai, kurie padeda užtikrinti betono mišinio tolygų susimaišymą ir užpildymą visos formos. Gelžbetonio karkasai yra labai patvarūs, atsparūs apkrovoms ir nepalankioms oro sąlygoms bei gali atlaikyti didžiulius svorius. Jie gali būti naudojami įvairiems statybos projektams: nuo daugiabučių, komercinių pastatų bei pramonės pastatų statybos. (<https://statyburangovas.lt/monolitiniu-konstrukciju-betonavimas/>)

3 lentelė

Techninė informacija apie variantą A3

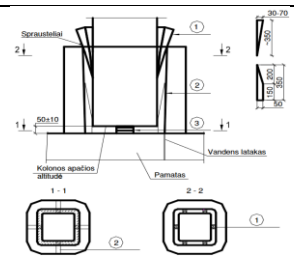
Gamyba	Skerspjūvio forma	Jungimas	Montavimas	
Suformuojama statybos aikštelėje.	Stačiakampis, kvadratinis arba apvalus	Kolonas tarpusavyje jungiamos tiesiogiai betonuojant, sujungiant armatūrą su pagrindo arba perdangos armatūra, taip	Monolitinės kolonos įrengiamos pradedant tvirtu pagrindo paruošimu ir klojinių pastatymu. Pirmiausia paruošiama armatūra, kurią sudaro vertikalūs strypai bei horizontaliai juos jungiantys horizontali armatūra, užtikrinanti kolonos tvirtumą. Armatūra montuojama pagal projektą ir įtvirtinama klojinio viduje. Klojiniai tvirtinami taip, kad betonas išlaikytų formą. Supylus betoną, jis sutankinamas, kad būtų pašalintas oras ir išvengta tuštumų. Betonas kietėja	 Monolitinių kolonų įrengimas

Gamyba	Skerspjūvio forma	Jungimas	Montavimas	
		sukuriant vientisą ir tvirtą jungtį.	kelias dienas, kol tampa pakankamai tvirtas, tada klojinius galima pašalinti. (https://statyburangovas.lt/monolitiniu-konstrukciju-betonavimas/)	

Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios montuojamos tauriniuose pamatuose (A4). Tauriniai pamatai - tai tradicinis ir vienas senesnių būdų montuoti kolonas. Gelžbetonio konstrukcijų gamyklos gamina standartinius taurinius pamatus, bet gali pagaminti ir pagal individualius projektus. Todėl architektai ir projektuotojai projektuojant pastatą gali naudoti įvairaus skerspjūvio kolonas. Kolonos yra naudojamos karkasiniams gamybos, sandėliavimo ir pramonės pastatams. Šios kolonos yra gana ekonomiškąs sprendimas. Jos gali atlaikyti įvairias apkrovas. (<http://www.betonika.lt/>)

4 lentelė

Techninė informacija apie variantą A4

Gamyba	Skerspjūvio forma	Jungimas	Montavimas	
Suformuojama gamykloje	stačiakampis, kvadratinis arba apvalus	Toks pat kaip ir A1	Pamato taurės dugno centre sudedama atraminė kaladėlė. Keičiant kaladėlių storį, niveliuojama projektinė kolonos apačios altitudė. Taurės dugne sudedami kreipiantieji sprausčiai-2, užfiksuoiantis kolonos atraminę dalį. Tada įstatomi sprausčiai-1, kuriuos palaipsniui kalant, kolona įtvirtinama taurėje ir sureguliuojamas kolonos vertikalumas. Aukštesnės nei 6 m kolonas reikia paremti atramomis. Įrengtas mazgas užpilamas smulkiagrūdžiu betonu. (http://www.betonika.lt/files/parsisiust/montavimo_instrukcijos/montavimo_rekomendacijos_lt/montavimo_rekomendacijos_kolonos.pdf)	 Gelžbetonio kolonos tvirtinimas tauriniame pamate

Sporto komplekso laikančiųjų konstrukcijų – kolonų – sprendinių vertinimas

Siekiant išrinkti tinkamiausią, visus reikalavimus atitinkantį sprendimą, naudojami daugiakriteriniai metodai, leidžiantys inžinerinius sprendimus įvertinti pasirinktos kriterijų sistemos ir jų reikšmingumo atžvilgiu (Zavadskas, 2001).

Nagrinėtiems sporto komplekso laikančiųjų konstrukcijų – kolonų - variantams įvertinti naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertinimo metodas, kriterijų reikšmingumas nustatomas teoriniu ir ekspertiniais metodais.

Vertinimo kriterijų sistemos sudarymas ir jų reikšmių skaičiavimas. Kolonos yra vienos iš svarbiausių konstrukcijų. Jos suteikia pastatui formą, nuo jų priklauso pastato stabilumas, ilgaamžiškumas, ir kt. Kolonų konstrukcijos parinkimas reikšmingai veikia objekto statybos kainą, įrengimo sudėtingumą ir jam reikalingų mašinų pasirinkimą, statybos trukmę ir t.t. Parenkant kolonas privaloma atsižvelgti į įrengimo kainą, ekonomiškumą, ekologiškumą, ilgaamžiškumą.

Atsižvelgiant į šiuos aspektus, sudaryta tokia galimų rėmo laikančiųjų konstrukcijų – kolonų - vertinimo sistema:

Kolonų kaina (K1), EUR/vnt - tai kriterijus, parodantis gaminio kainą (Sistela, 2006).

Darbų atlikimo laikas (K2), žm.val./vnt - tai kriterijus, parodantis darbo sąnaudas, reikalingas kolonos įrengimui (Sistela, 2006).

Mechanizmų darbo sąnaudos (K3), maš.val./vnt - parodo kiek laiko kolonų montavimo procese dirba mechanizmas (Sistela, 2006).

Darbo sudėtingumas (K4), vid. kategorija – kriterijus, parodantis darbo atlikimo sudėtingumą (Sistela, 2006).

Tyrimo metu nustatytos kriterijų skaitinės reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė

Vertinimo kriterijų skaitinės reikšmės

Kriterijai	(K1) Kaina, (EUR/vnt)	(K2) Darbų atlikimo laikas (žm.val./vnt)	(K3) Mechanizmų darbo sąnaudos (maš.val/vnt)	(K4) Darbo sudėtingumas (vid. kategorija)
Variantai				
(A1) Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais	1212	5.2	1.7	4.0

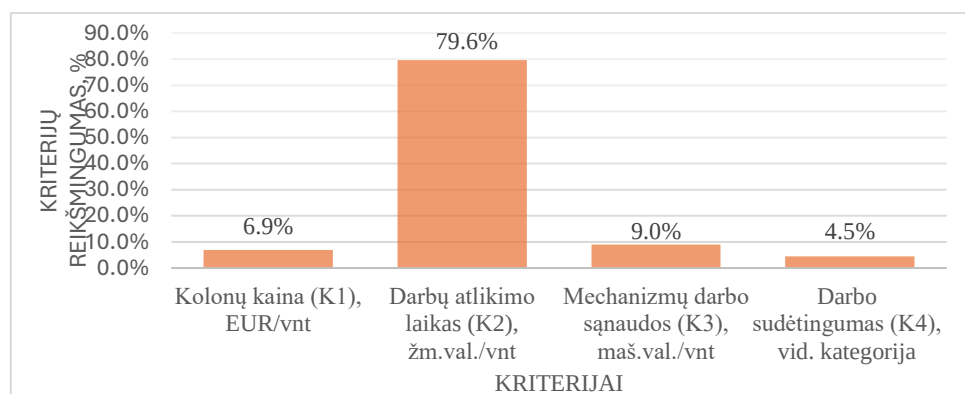
Kriterijai Variantai	(K1) Kaina, (EUR/vnt)	(K2) Darbų atlikimo laikas (žm.val./vnt)	(K3) Mechanizmų darbo sąnaudos (maš.val./vnt)	(K4) Darbo sudėtingumas (vid. kategorija)
(A2) Plieninės valcuoto profilio kolonos	1580	14	2.25	4.6
(A3) Monolitinės kolonos	1440	11.9	2.54	3.75
(A4) Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios montuojamos tauriniuose pamatuose	1152	5.1	1.9	3.6

Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos metodą. Šis metodas leidžia nustatyti vertinimo kriterijų reikšmingumą teoriškai, remiantis matematiniais skaičiavimais ir naudojant kriterijų reikšmingumo skaitines reikšmes (Zavadskas, 2001).

Kriterijų naudingumo prioritetų eilutė: **K2>K3>K1>K4.**

Grafiniai kriterijų reikšmingumo duomenys pateikti 1 pav.



1 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas nustatytas, taikant teorinį entropijos metodą

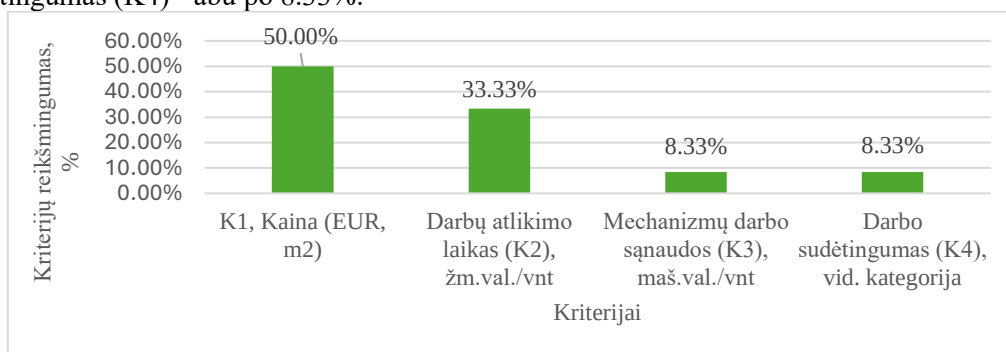
Šaltinis: sudaryta autorių

Nustačius kiekvieno entropijos kriterijaus lygį ir kriterijų kitimo lygį, iš prioritetų eilutės matoma, kad didžiausią reikšmingumą turi darbų atlikimo laiko kriterijus (K2) – 79.6%. Mažiau svarbus yra rėmo laikančiųjų konstrukcijų – kolonų įrengimui naudojamų mechanizmų darbo sąnaudų kriterijus (K3) - 9.0% bei laikančiųjų konstrukcijų - kolonų įrengimo kainos kriterijus (K1) yra 6.9%. Teoriškai mažiausiai svarbus kriterijus– darbo sudėtingumas (K4) – 4.5 %.

Vertinimo kriterijų subjektyvaus reikšmingumo nustatymas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą. Ekspertinis porinio palyginimo metodas leidžia nustatyti kriterijų reikšmingumą atsižvelgiant į subjektyvią suinteresuotų grupių nuomonę (Zavadskas, 2001). Sudaryta tokia kriterijų naudingumo prioritetų eilutė: **K1>K2>K3=K4.** Pagal sudarytą eilutę kriterijai lyginami poromis, svarbesniam kriterijui skiriant 2 balus, atitinkamai mažiau svarbiam- 0 balų.

Grafiškai pavaizduoti rezultatai pateikti 2 paveiksle.

Skaičiavimo rezultatai parodė, kad didžiausią subjektyvų reikšmingumą turi įrengimo kaina (K1) – 50%, bei darbų atlikimo laikas (K2) – 33.33%. Pakankamai svarbūs kriterijai - mechanizmų darbo sąnaudų (K3) ir darbo sudėtingumas (K4) - abu po 8.33%.



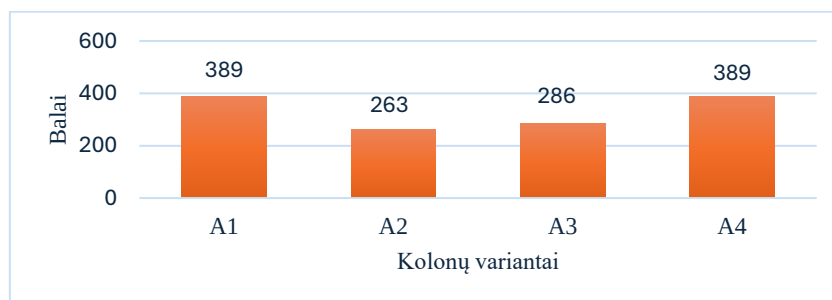
2 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas nustatytas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą.

Šaltinis: sudaryta autorių

Racionalios sporto komplekso laikančiosios konstrukcijos – kolonos – nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Pagal skaičiavimo rezultatus sudaroma laikančiųjų konstrukcijų - kolonų prioritetų eilutė, rezultatai pateikiami grafike 3 pav.

$$A4=A1>A3>A2;$$



3 pav. Sporto komplekso kolonų variantų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus daugiakriterinį alternatyvių kolonų variantų naudingumo vertinimą, kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas, pastebėta, kad A4 (gelžbetonio kolona į taurinį pamatą) ir A1 (gelžbetonio kolona ant inkarinių varžtų) kolonos yra efektyviausios (389 balo), o A2 (plieninė kolona) mažiausiai efektyvi (263 balo).

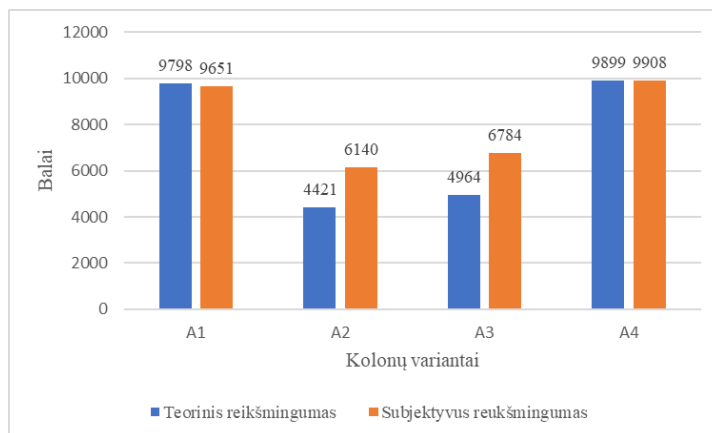
Sudaromos laikančiųjų konstrukcijų – kolonų - prioritetų eilutės ir gauti rezultatai atvaizduojami grafiškai (4 pav.).

Pagal teorinį kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus yra **darbų atlikimo laikas**, gauta tokia prioritetų eilutė:

$$A4 > A1 > A3 > A2.$$

Pagal subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus yra **kaina**, gauta tokia prioritetų eilutė:

$$A4 > A1 > A3 > A2.$$



4 pav. Sporto komplekso kolonų variantų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas: **A1**-Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais;

A2- Plieninės kolonos; **A3**- Monolitinės kolonos; **A4**-Surenkamojo gelžbetonio kolonos, kurios montuojamos tauriniuose pamatuose

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus alternatyvų kolonų variantų naudingumo vertinimus, kai įvertinamas teorinis bei subjektyvus kriterijų reikšmingumas, nustatyta, kad gelžbetonio kolona į taurinį pamatą (A4) yra pati efektyviausia abiem atvejais (9899 bei 9908 balai), tačiau ir kolona, tvirtinama prie pamato inkariniais varžtais (A1) yra ne mažiau racionalus variantas (9798 bei 9651 balai), o plieninė kolona (A2) yra abiem atvejais mažiausiai efektyvi (4421 bei 6140 balai).

Išvados

1. Atlikus daugiakriterinį laikančiųjų konstrukcijų - kolonų variantų vertinimą nustatyta, kad kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus – darbų atlikimo laikas, efektyviausias

variantas - kolonos, montuojamos tauriniuose pamatuose. Tačiau šiuo atveju beveik lygiaverčiai galėtų būti svarstomas ir kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais, variantas.

2. Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausias kriterijus – kaina, racionaliausias variantas - taip pat kolonos, montuojamos tauriniuose pamatuose. Tačiau ir šiuo atveju beveik lygiaverčiai galėtų būti svarstomas ir kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais, variantas.

3. Atsižvelgiant į tai, kad varžtinės jungtys užtikrina paprastą ir greitą statybų procesą, todėl pagal daugiakriterinio vertinimo rezultatus - efektyviausias variantas būtų kolonos, kurios tvirtinamos prie pamato inkariniais varžtais.

Literatūra

1. Betono ir gelžbetonio gaminiai [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.betonika.lt/>
2. Peikko metalinės ir gelžbetoninės konstrukcijos [interaktyvus], prieiga per internetą: <https://www.peikko.lt/>
3. Informacija apie metalines kolonas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.viritas.lt/metalo-konstrukciju-gamyba/metalines-kolonas>
4. Informacinis tinklapis apie monolitinę koloną [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://statyburangovas.lt/monolitiniu-konstrukciju-betonavimas/>
5. Kolonų montavimo instrukcija. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://aksa.lt/wp-content/uploads/2022/07/Kolonu_montavimo_instrukcija-1.pdf
6. Informacinis tinklapis apie kolonų montavimą [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.betonika.lt/files/parsisiust/montavimo_instrukcijos/montavimo_rekomendacijos_lt/montavimo_rekomendacijos_kolonos.pdf
7. Darbo, medžiagų ir mechanizmų sąnaudų statyboje normatyvai. Rinkinys N7P. Surenkamos betoninės ir gelžbetoninės konstrukcijos.- Vilnius, Sistela, 2006.
8. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. V.: Technika, 2001. p.142-143.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF LOAD-BEARING STRUCTURES IN SPORTS COMPLEX

Summary

The primary function of the load-bearing frame, which acts as the structural foundation of a building, is to support the various loads applied to it and to maintain the necessary operational properties throughout the building's service life. Columns represent a critical component of this load-bearing frame. The selection of the column type and its method of attachment to the foundation is essential for facilitating rapid, precise, and safe installation procedures. To ascertain a rational configuration for the load-bearing structure of a sports complex, this study analyzes four alternative column designs. The evaluation utilizes a multi-criteria utility value approach, wherein the subjective significance of the criteria is determined through expert ranking and pairwise comparison methodologies.

VETERINARIJOS KLINIKOS GRINDŲ DANGŲ VARIANTŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

Nikolaj Gorbatenko, Jūratė Mockienė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Darnumo ir žiedinės ekonomikos principai skatina sumažinti atliekų kiekį, naudoti perdirbamas ir ekologiškas medžiagas. Dėl to labai svarbu, kad gaminamos grindų dangos būtų ekologiškos, darytų mažiau žalos gamtai, būtų perdirbamos ir pakartotinai panaudotos gamyboje. Parenkant grindų dangas privaloma atsižvelgti į jų įrengimo kainą, ekonomiškumą, ekologiškumą, ilgaamžiškumą, estetiką. Siekiant nustatyti racionalų veterinarijos klinikos grindų dangų variantą, straipsnyje analizuojami penki alternatyvūs grindų dangų sprendimai. Jų įvertinimui naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas. Įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Grindų dangos variantai, daugiakriterinė analizė, vertinimo rodikliai, teorinis reikšmingumas, subjektyvus reikšmingumas, naudingumo vertės metodas, racionalus sprendimas.

Išvadas

Darnumo ir žiedinės ekonomikos principai skatina sumažinti atliekų kiekį, naudoti perdirbamas ir ekologiškas medžiagas. Taip pat reikia didinti energetinį efektyvumą, mažinti energijos sąnaudas. Tai apima surenkamų komponentų naudojimą, pritaikomumo projektavimą ir medžiagų, kurias galima perdirbti arba pakartotinai panaudoti, naudojimą. Pirmenybė vietiniams gamintojams gali padėti išvengti transportavimo išlaidų ir papildomo anglies dvideginio išmetimo. Pastatai taip pat prisideda prie viso pasaulio CO₂ emisijų ir yra įvardinami kaip didžiausi išteklių vartotojai ir teršėjai.

Dėl to labai svarbu, kad gaminamos grindų dangos būtų ekologiškos, darytų mažiau žalos gamtai, būtų perdirbamos ir pakartotinai panaudotos gamyboje (Günther et al, 1997; Potting et al, 1995; Arıoğlu et al, 2015; Topalović et al, 2020). Grindys yra vienas pagrindinių interjero akcentų, pirmiausia krentančių į akis ir kuriančių visą patalpos stilių. Norint išsirinkti tinkamas grindis, prieš tai reikia atsakyti į keletą klausimų: ar patalpoje bus dažnai vaikščiojama su batais, ar bus naminių gyvūnų, smėlio, purvo, ar bus naudojama grindų šildymo sistema (Arıoğlu et al, 2015; Ahn et al, 2021). Renkantis tinkamas grindis reikia atkreipti dėmesį į grindų kainą, įrengimo laiką ir kad grindų dangos būtų patvarios ir greitai nesidėvėtų (Coşkun et al, 2023; Maki et al, 1990; Pereira et al, 2014).

Siekiant nustatyti geriausią grindų dangos varianto sprendimą, buvo pasirinkta analizuoti penkis galimus grindų dangų, kurių gamintojas „Tarkett“, variantus. Todėl „Tarkett“, kad jų naudojama atskyrimo ir perdirbimo technologija suteikia galimybę perdirbti homogenines grindų dangas, ir tai sumažina anglies dvideginio bei atliekų išmetimą į aplinką. Vinilinės dangos nagrinėjimui buvo pasirinktos todėl, kad jų paviršius yra ne toks kietas kaip plytelių, todėl jos sugeria ir slopina triukšmą, be galo paprasta priežiūra, bei šiuolaikinių vinilinių grindų dangų įrengimas yra itin paprastas.

Projektuotojams iškyla natūralus klausimas - kurio grindų dangų varianto panaudojimas yra efektyvesnis ir kaip jis atrodo kitų grindims naudojamų tvarių medžiagų kontekste?

Šiame tiriamajame darbe keliamas tikslas - išanalizuoti veterinarijos klinikos grindų dangų variantus ir, atlikus daugiakriterinį vertinimą, nustatyti efektyvų sprendinį.

Tyrimo objektas- veterinarijos klinikos tvarių medžiagų grindų dangos.

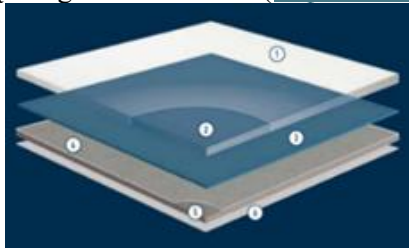
Veterinarijos klinikos grindų dangų sprendinių vertinimas buvo atliekamas etapais, naudojant atitinkamus tyrimo metodus: 1 – tokios paskirties pastato grindų dangų variantų analizė ir atranka, naudojant informacijos šaltinių analizės metodą; 2 - aktualių vertinimo aspektų nustatymas, kriterijų sistemos sudarymas ir jų reikšmių skaičiavimas, naudojant alternatyvių projektų analizės, ekspertinės apklausos metodus; 3 - kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus; 4 - efektyvaus grindų dangų sprendinio nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Veterinarijos klinikos grindų dangų variantų sprendimų analizė

Yra parinktos Tarkett gamintojo PVC grindų dangos, kurios numatomos įrengti veterinarijos klinikos bendruose pastato patalpose. Grindų dangos įrengiamos ant vienodo betoninio pagrindo, todėl visa grindų konstrukcija neanalizuojama. Buvo analizuojami penki veterinarijos klinikos grindų dangų galimi variantai.

Vinilinė heterogeninė Acczent Excellence 80 grindų danga (A1) yra apdorota Top Clean XP paviršiaus apsaugine medžiaga ypač dideliu tvirtumui ir ekonomiškai priežiūrai užtikrinti (1 pav.). Danga gali būti su plytelėmis ar su akustiniu paklotu (Tapiflex Excellence 65). Grindų danga turi 0.80 mm dėvimoji sluoksnio storį. Tinka komercinės ir pramoninės paskirties patalpos. Grindų dangos anglies

pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui sudaro 8.78 kg CO₂/m². Gaminant naują produktą panaudotos perdirbtos senos grindų dangos sudaro 33% (https://www.tarkett.lt/lt_LT/).

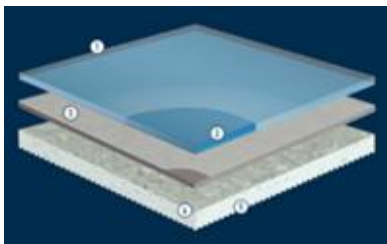


1 pav. Acczent Excellence 80 grindų dangos sluoksnių schema

1 – Apsauginis poliuretano sluoksnis, kuris atsparus trinčiams ir įbrėžimams, 2 – permatomas PVC nusidėvėjimo sluoksnis – 0.80 mm, 3 – grindų dangos spalvų bei dizaino sluoksnis, 4 – armuotas stiklo pluošto sluoksnis, 5 – tvirtas vienalytis lakštas, pagamintas iš perdirbto vinilo, atsparus įspaudams ir plyšimui, 6 – uždarytų porų didelio tankio putplasčio pagrindas.

Šaltinis: https://www.tarkett.lt/lt_LT/.

Vinilinė heterogeninė Acczent Platinum 100 grindų danga (A2) yra naujoviškos, kompaktiškos, akustinės ir ypač tvirtos vinilinės grindys (2 pav.). Ji yra apdorota Top Clean XP paviršiaus apsauga ypatingam tvirtumui ir ekonomiškai priežiūrai. Grindų danga turi 1.02 mm dėvėjimosi sluoksnio storį, o jos bendras storis 2.45 mm. Tinka komercinės paskirties patalpoms. Grindų dangos anglies pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui sudaro 9.73 kg CO₂/m². Gaminant naują produktą panaudotos perdirbtos senos grindų dangos sudaro 24.1%. (https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C001304-acczent-platinum-100).



2 pav. Acczent platinum 100 grindų dangos sluoksnių schema

1 – Apsauginis poliuretano sluoksnis, kuris atsparus trinčiams ir įbrėžimams, 2 – permatomas PVC nusidėvėjimo sluoksnis – 1.02 mm, 3 – grindų dangos spalvų bei dizaino sluoksnis, 4 – armuotas stiklo pluošto sluoksnis, 5 – uždarytų porų didelio tankio putplasčio pagrindas.

Šaltinis: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C001304-acczent-platinum-100

Vinilinė homogeninė iQ Natural grindų danga (A3) yra pirma pasaulyje grindų danga turinti biologinių savybių, pakeičiančių tradicinį iškastinį kurą į atsinaujinančias biomasės žaliavas, į medienos atliekas (3 pav.). Jos homogeniška struktūra ir paviršiaus apdorojimas užtikrina puikų atsparumą dėmėms ir įbrėžimams dėl intensyvaus eismo. Grindų danga yra vienalytė grindų danga su 2.0 mm nusidėvėjimo sluoksniu. Tinka komercinėms ir pramoninėms paskirties patalpoms. Grindų dangos anglies pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui sudaro 2.24 kg CO₂/m². Gaminant naują produktą panaudotos perdirbtos senos grindų dangos sudaro 25.5%. Taigi iQ Natural suteikia grindų dangos sprendimą, kurio dėka šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija sumažėja 50%, lyginant su vidutinėmis homogeninėmis grindimis. iQ Natural yra viena iš mažiausiai anglies pėdsakų turinčių atsparių grindų dangų rinkoje. (https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000124-iq-natural).



3 pav. iQ Natural vinilinės grindų dangos plytelė

Šaltinis: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000124-iq-natural

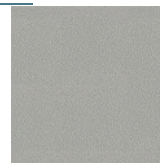
Vinilinė homogeninė iQ Granit grindų danga išsiskiria unikaliomis eksploatacinėmis savybėmis, pasižymi ypatingu ilgaamžiškumu, taip pat atsparumu dėvėjimuisi, dėmėms ir dilimui visose intensyvaus eismo zonose (4 pav.). Nereikia poliruoti ar vaškuoti, užtenka paprasto sauso blizginimo.

Bendras grindų dangos storis yra 2 mm, dėvėjimosi sluoksnio storis taip pat 2 mm. Tinka švietimo ir sveikatos priežiūros įstaigoms. Grindų dangos anglies pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui sudaro 5.24 kg CO₂/m². Gaminant naują produktą panaudotos perdirbtos senos grindų dangos sudaro 25.5%. ([https://www.tarkett.lt/lt LT/kolekcija-C000120-iq-granit](https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000120-iq-granit).



4 pav. iQ Granit vinilinės grindų dangos plytelė

Šaltiniai: [https://www.tarkett.lt/lt LT/kolekcija-C000120-iq-granit](https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000120-iq-granit)



5 pav. iQ One vinilinės grindų dangos plytelė

Šaltinis: [https://www.tarkett.lt/lt LT/kolekcija-C000372-iq-one](https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000372-iq-one)

PVC grindų iQ ONE danga (A5) iš naujosios kartos elastinga grindų danga, jos naujoviška ne PVC formulė suteikia puikų balansą tarp estetikos, lankstumo ir stiprumo. Grindų danga pasižymi geromis eksploatacinėmis savybėmis, užtikrina ypatingą tvirtumą bei puikų atsparumą nusidėvėjimui, dėmėms ir nusitrynimui visose intensyvaus judėjimo vietose (5 pav.). Šių grindų nereikia poliruoti ar vaškuoti, jų originalią išvaizdą galima atstatyti tiesiog jas nušveitus sausu būdu. Sudėtyje nėra PVC plastifikatorių. Bendra grindų dangos storis yra 2 mm, dėvėjimosi sluoksnio storis taip pat 2 mm. Grindų dangos anglies pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui sudaro 8.40 kg CO₂/m². Gaminant naują produktą panaudotos perdirbtos senos grindų dangos sudaro 25.5%. ([https://www.tarkett.lt/lt LT/kolekcija-C000372-iq-one](https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000372-iq-one)).

Veterinarijos klinikos grindų dangų variantų sprendimų vertinimas

Pastaruoju metu tiek teoriniams tyrimams, tiek praktiniams uždaviniams spręsti vis plačiau taikomi daugiakriterinio vertinimo būdai (Zavadskas et al, 2001; Ginevičius et al., 2008; Zavadskas et al, 1996). Jie turi privalumą, kad į vieną apibendrinamąjį rodiklį jungia tiek maksimizuojančius, tiek minimizuojančius įvairiomis dimensijomis išreikštus rodiklius (Ginevičius et al., 2008; Zavadskas et al, 2001). Toks jungimas įmanomas dėl visų rodiklių pavertimo bedimensiais - tarpusavyje palyginimais (Ginevičius et al., 2008; Zavadskas et al, 2001), ir tai suteikia galimybę sudaryti analizuojamų sprendinių prioritetus. Tokios prioritetų eilutės leidžia nustatyti geriausią arba vieną iš geriausių analizuojamų variantų.

Šiame tyrime efektyviam grindų dangų varianto nustatymui naudotas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas, o kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus.

Vertinimo kriterijų sistemos parinkimas ir jų reikšmių skaičiavimas. Renkantis tinkamas grindis visų pirma reikia atkreipti dėmesį į grindų kainą, įrengimo laiką ir svarbiausia grindų dangos turi būti patvarios ir greitai nenusidėvėti. Gaminamos grindų dangos turi būti ekologiškos, daryti mažiau žalos gamtai, būti perdirbamos ir pakartotinai panaudotinos gamyboje.

Atsižvelgiant į šiuos aspektus, sudaryta tokia galimų PVC grindų dangų variantų vertinimo sistema:

Grindų dangos kaina K1, (EUR/m²) - tai kriterijus, parodantis 1m² gaminio kainą.

Darbo sąnaudos K2, (žm.val./m²) - tai kriterijus, parodantis darbo laiką, reikalingą grindų dangos įrengimui.

Dėvimojo sluoksnio storis K3, (mm) - parodo kiek ir kokio storio yra darbinis PVC grindų dangos sluoksnis, kuris padeda apsaugoti grindis nuo greito nusidėvėjimo.

Tvarumas K4, (%) – grindų dangos gamyba iš perdirbtų medžiagų, skaitinę vertę paimta %, tai yra kiek senos grindų dangos bus panaudota naujų grindų dangos gamyboje.

Gamtosauga K5, (CO₂/m²) – gaminamos grindų dangos anglies pėdsakas kuris išskiriamas į atmosferą nuo grindų dangos gamybos pradžios iki pristatymo vartotojui.

Tyrimo metu nustatytos kriterijų skaitinės reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė

Vertinimo kriterijų skaitinės reikšmės

Kriterijai	(K1) Grindų dangos kaina, EUR/m ²	(K2) Darbo sąnaudos žm.val./m ²	(K3) Dėvimojo sluoksnio storis, mm	(K4) Tvarumas, %	(K5) Gamtosauga, CO ₂ /m ²
Variantai					
(A1) Vinilinė heterogeninė grindų danga Acczent Excellence 80	25	0.49	0.80	33	8.78
(A2) Vinilinė heterogeninė grindų danga Acczent Platinum 100	27.50	0.49	1.02	24.1	9.73

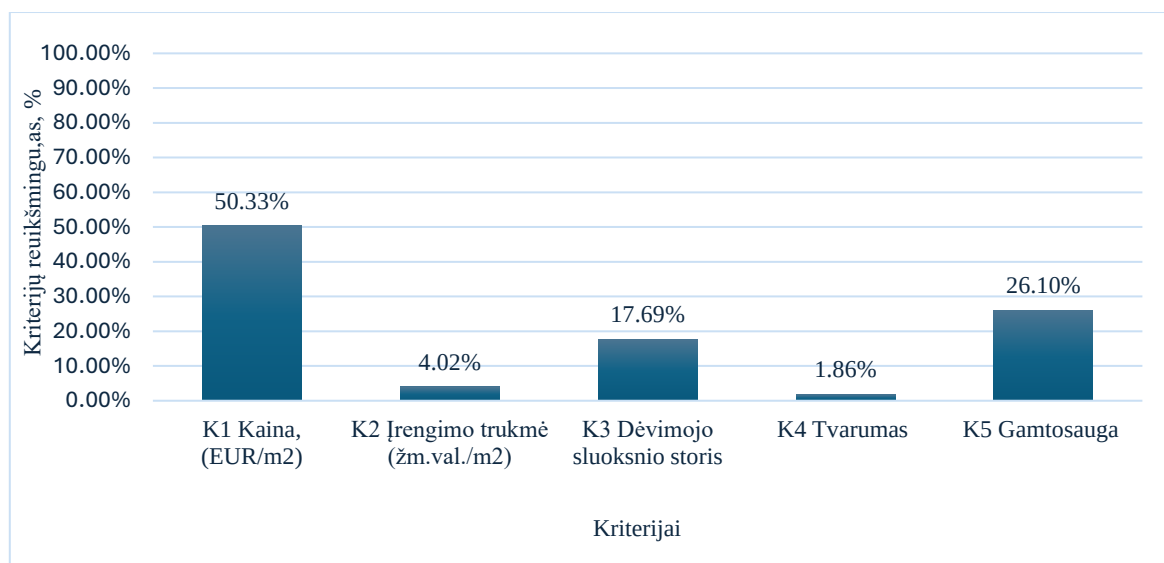
Kriterijai Variantai	(K1) Grindų dangos kaina, EUR/m ²	(K2) Darbo sąnaudos žm.val./m ²	(K3) Dėvimojo sluoksnio storis, mm	(K4) Tvarumas, %	(K5) Gamtosauga, CO ₂ /m ²
(A3) Vinilinė homogeninė grindų danga iQ Natural	41.90	0.69	2.0	25.5	2.24
(A4) Vinilinė homogeninė grindų danga iQ Granit	22.59	0.49	2.0	25.5	5.24
(A5) PVC grindų danga iQ ONE	83.81	0.69	2.0	25.5	8.40

Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos metodą. Šis metodas leidžia nustatyti vertinimo kriterijų reikšmingumą teoriškai, remiantis matematiniais skaičiavimais ir naudojant kriterijų reikšmingumo skaitines reikšmes (Zavadskas et al, 2001; Ginevičius et al., 2008; Zavadskas et al, 1996).

Kriterijų prioritetų eilutė: **K1 > K5 > K3 > K2 > K4.**

Grafiniai kriterijų reikšmingumo duomenys pateikti 6 paveiksle.



6 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas nustatytas, taikant teorinį entropijos metodą

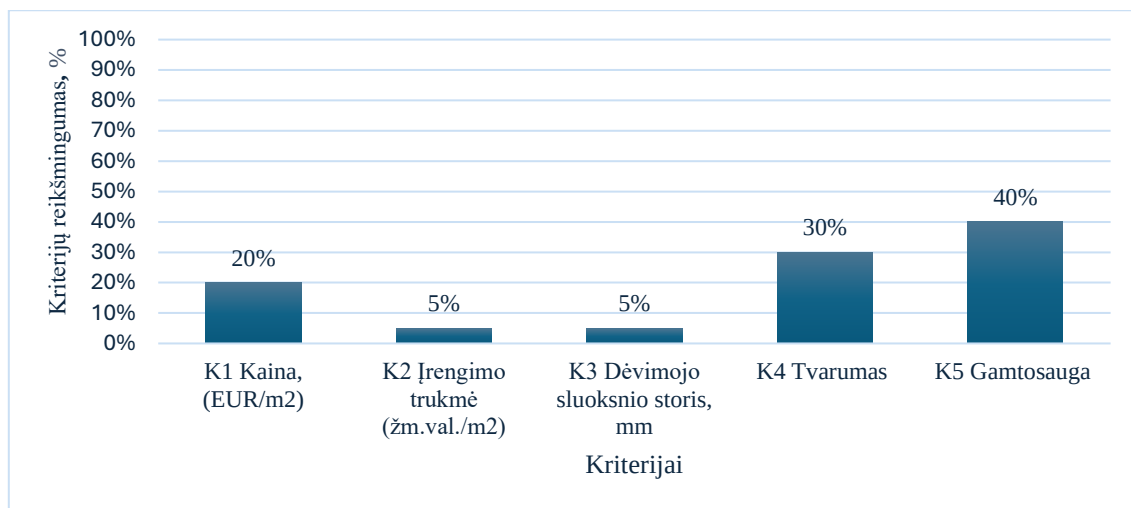
Šaltinis: sudaryta autorių

Nustačius kiekvieno entropijos kriterijaus lygį ir kriterijų kitimo lygį, iš prioritetų eilutės matoma, kad didžiausią reikšmingumą turi kainos kriterijus (K1) – 50.33%. Ne ką mažiau svarbus yra veterinarijos klinikos grindų dangos gamtosaugos kriterijus (K5) – 26.10%. Grindų dangos dėvimojo sluoksnio storio kriterijus (K3) yra 17.69%, o dangos įrengimo trukmės kriterijus (K2) yra 4.02%. Teoriškai mažiausiai svarbus kriterijus – tvarumo kriterijus (K4) – 1,86 %.

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą. Ekspertinis porinio palyginimo metodas leidžia nustatyti kriterijų reikšmingumą atsižvelgiant į subjektyvią suinteresuotų grupių nuomonę (Zavadskas et al, 2001; Ginevičius et al., 2008; Zavadskas et al, 1996). Subjektyvios nuomonės kriterijų prioritetų eilutei sudaryti naudotas organoleptinis metodas (eilutė sudaryta, remiantis užsakovo nuomone). Sudaryta tokia kriterijų prioritetų eilutė: **K5>K4>K1>K3=K2**. Pagal sudarytą eilutę kriterijai lyginami poromis, svarbesniam kriterijui skiriant 2 balus, atitinkamai mažiau svarbiam – 0 balų.

Grafiškai pavaizduoti rezultatai pateikti 7 paveiksle.

Skaičiavimo rezultatai parodė, kad didžiausią subjektyvų reikšmingumą turi gamtosaugos kriterijus (K5) – 40%, bei tvarumo kriterijus (K4) – 30%. Pakankamai svarbūs kriterijai – kainos kriterijus (K1) – 20% . Mažiau svarbūs yra įrengimo trukmės (K2) ir dėvimojo sluoksnio storio (K3) kriterijų vertės – abi po 5%

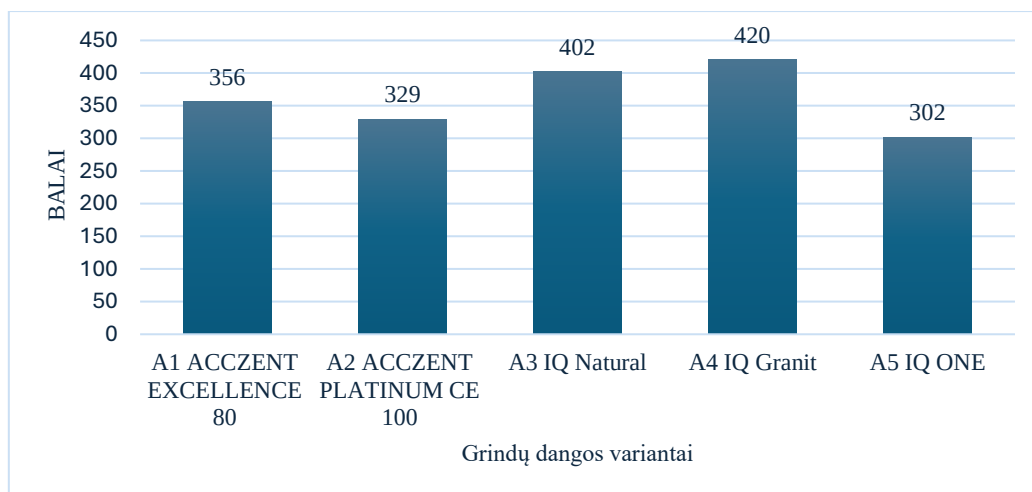


7 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas nustatytas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą.
Šaltinis: sudaryta autorių

Racionalaus grindų dangos varianto nustatymas taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Pagal skaičiavimo rezultatus sudaroma veterinarijos klinikos grindų dangų variantų prioritetų eilutė, rezultatai pateikiami grafike 8 pav.

A4>A3>A1>A2>A5.



8 pav. Grindų dangų variantų sprendinių naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas
Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus grindų dangos variantų vertinimą, kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas, buvo nustatyta, kad geriausias variantas yra iQ Granit (A4) grindų danga (420 balų), antroje vietoje iQ Natural (A3) grindų danga (402 balai), trečioje vietoje Acczent Excellence 80 (A1) (356 balai), ketvirtoje Acczent Platinum 100 (A2) (329 balai), ir penktoje iQ One (A5) (302 balai).

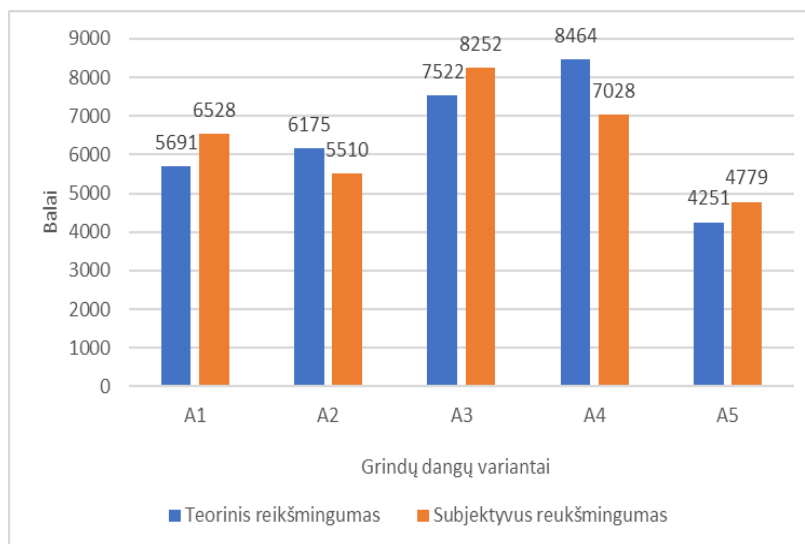
Sudaromos grindų dangų variantų prioritetų eilutės ir gauti rezultatai atvaizduojami grafiškai (9 pav.).

Pagal teorinį kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus yra **kaina**, gauta tokia prioritetų eilutė:

A4 > A3 > A2 > A1 > A5.

Pagal subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus yra **gamtosauga**, gauta tokia prioritetų eilutė:

A3 > A4 > A1 > A2 > A5.



9 pav. Veterinarijos klinikos grindų dangų variantų sprendimų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas. **A1-** ACCZENT EXCELLENCE 80; **A2-** ACCZENT PLATINUM CE 100; **A3-** IQ Natural; **A4-** IQ Granit; **A5-** IQ ONE;

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus daugiakriterinį tvarių medžiagų grindų dangų variantų vertinimą nustatyta, kad kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus – kaina, efektyviausias variantas- yra iQ Granit (A4) grindų danga.

2. Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausias kriterijus – gamtosauga, racionaliausias variantas- iQ Natural (A3) grindų danga.

3. Atsižvelgiant į tai, kad grindų dangos anglies pėdsakas nuo dangos gamybos iki pristatymo vartotojui būtų kuo mažesnis, ir pagal užsakovo pateikta kriterijų prioritetų eilutę, kai svarbiausias kriterijus yra gamtosauga, iQ Natural (A3) grindų danga ir bus priimta kaip projektinis sprendinis veterinarijos klinikos viešų bei bendrų patalpų grindų įrengimui.

Literatūra

- Günther A., Langowski H.-Ch. Life cycle assessment study on resilient floor coverings. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1997, 2: 73-80.
- Potting J., Blok K. Life-cycle assessment of four types of floor covering. Journal of Cleaner Production, 1995. 3(4): 201-213.
- Arioğlu N., Akan M. Ö.A., Cengiz A. Ç., Duman M.H. A Proposed New Product Development Process for Floor Coverings and Assessment of Its Applicability. Journal of Civil Engineering and Architecture, 2015, 9: 38-44.
- Topalović M.N., Stanković M. Evaluation of floor coverings from the ecological and economic aspect in the design stage. Contemporary Materials, 2020, 11(2).
- Coşkun G., Bendak S. Safety of hospital floor coverings: A mixed method study. Safety Science, 2023, 163: 106145.
- Maki B.E., Fernie G.R. Impact attenuation of floor coverings in simulated falling accidents. Applied Ergonomics, 1990, 21(2): 107-114.
- Pereira A., Godinho L., Mateus D., Ramis J., Branco F.G. Assessment of a simplified experimental procedure to evaluate impact sound reduction of floor coverings. Applied Acoustics, 2014, 79: 92-103.
- Ahn H., Liu J., Kim D., Yin R., Hong T., Piette M.A. How Can Floor Covering Influence Buildings' Demand Flexibility? Energies, 2021, 14(12), 3658.
- Dubingiai. Interjero sprendimai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.dubingiai.lt/>.
- Grindų dangos produktai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.tarkett.lt/lt_LT/.
- Grindų dangos produktai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C001304-acczent-platinum-100
- Grindų dangos produktai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000124-iq-natural.
- Grindų dangos produktai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000120-iq-granit
- Grindų dangos produktai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.tarkett.lt/lt_LT/kolekcija-C000372-iq-one
- Interjeras. Kaip išsirinkti kokybiškas grindis. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.interjeras.lt/>

16. Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. V.: Technika, 2001. 380p
17. Ginevičius R.; Podvezko V. Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas.- Verslas: teorija ir praktika, 2008, 9 (1): p. 73-80.
18. Zavadskas E.K., Kaklauskas A. Pastatų sistemotechninis įvertinimas.- V.: Technika.1996, 280 p.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF VETERINARY CLINIC FLOOR COVERING OPTIONS

Summary

Sustainability and circular economy principles encourage reducing waste and using recyclable and environmentally friendly materials. Therefore, it is very important that the floor coverings produced are environmentally friendly, cause less environmental harm, are recyclable and reused in production. When choosing floor coverings, it is necessary to consider their installation cost, cost-effectiveness, environmental friendliness, durability, and aesthetics. The article analyses five alternative floor covering solutions to determine a rational option for a veterinary clinic. A multi-criteria utility value method is used to evaluate them. The subjective significance of the criteria is assessed using expert ranking and pairwise comparison methods.

ASSESSMENT OF LAND USE IN ALYTUS DISTRICT MUNICIPALITY USING CONTACT AND REMOTE RESEARCH METHODS

Viltė Abalikškaitė, Vilma Šalkauskienė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

Land is a unique resource for human economic activity. Its use is multifaceted: it serves as the primary source for agricultural production, provides the spatial foundation for buildings, structures, and roads, and acts as an object of property rights, trade, and investment. Research purpose - to assess the land use of Alytus district municipality. Research methods applied: scientific literature analysis, data comparison, statistical data analysis and generalization. This article presents a statistical analysis of land use composition and farmland in Alytus district municipality, examines spatial data sets related to land use, and identifies factors influencing the expansion of developed areas.

An analysis of changes in the land fund of Alytus district municipality from 2019 to 2024 revealed annual variations in land use areas. According to the general plan, territories prioritized for agricultural use in the municipality are divided into eight zones. The most significant factors influencing the dynamics of urbanized and urbanizing areas are water bodies, forests, and green spaces, while population changes have a lesser impact.

KEY WORDS. Land use types, land use, farmer's farm, general plan.

Introduction

The chosen topic is relevant because rational land use is necessary to balance the various functions performed by land - from economic utility and the development of residential areas to maintaining ecological balance. This is the basis for sustainable development of territories that meets the current needs of people without compromising the ability of future generations to meet their own.

The chosen topic is relevant because ensuring and maintaining rational land use is carried out based on the regulation of the quality of the natural environment, especially land resources. An important role in maintaining the quality of land is played by monitoring, which is a system of monitoring the state of the land fund in order to timely notice changes, assess them, prevent and eliminate negative processes. Land is a unique resource of human economic activity and the role of its use is multifaceted: it is the main source of growing agricultural production, a spatial base for laying out buildings, structures, roads, an object of property rights, a source of purchase and sale, investment. Land use and land cover changes are analyzed worldwide. Changes in land use are directly related to urbanization and agricultural activities (Ullah et al., 2024; Kanojia et al., 2024). Land-use conversion is one of the primary threats to the environment and natural resources today. To mitigate and better manage the impacts of landscape changes, up-to-date information and data on shifts in various land use types and spatial configurations are necessary. Remote sensing and land-use assessments provide insights into land use dynamics (Mostafazadeh et al., 2024; Mirian et al., 2024). Land, like most resources, is finite; therefore, to meet current societal needs while maintaining the ability to satisfy future generations, it is crucial to ensure rational land use and implement state-level land use control (Wu et al., 2018; Akin et al., 2022).

Research purpose - to assess the land use of Alytus district municipality.

Research Tasks

1. Define the relevance of rational land use.
2. Conduct a statistical analysis of land use composition in Alytus district municipality.
3. Analyze spatial data sets related to land use.
4. Examine farmers' farms, their declared agricultural land use areas, and changes over time.
5. Identify factors influencing the expansion of developed areas.

Theoretical background

Land use is a key factor in the sustainable development of specific regions within a country. Rational land use is achieved through a balanced approach to three components: economic, social, and environmental. The efficiency of land use as a primary agricultural resource and an object of property rights impacts the level of social and economic development (Tykhenko, 2025). Rational land use refers to the purposeful application of land, ensuring its alignment with specific production goals and objectives. In agriculture, this involves improving productivity, implementing land reclamation, increasing arable land areas, and ensuring the efficient use of industrial technologies, labor, and material resources. In urban areas, rationality is ensured through zoning, well-founded planning projects, and appropriate land management (Yemets et al., 2022; Dorosh et al., 2022; Dubovitski et al., 2022). Information on soil is essential for monitoring soil fertility and ensuring the rational use of land resources.

The requirement for rational land use is essentially economic in nature and closely linked to efficiency. As society expands its use of natural resources, it becomes highly dependent on their quality. Today, it is necessary to address key challenges, such as minimizing the negative consequences of land use and balancing the need for intensive land resource utilization with maintaining land quality (Liu et al., 2021). The human factor influences land use in various ways, including the qualifications and motivation of workers, which affect their approach to specific land parcels (Lagodzinska, 2022). According to Wu et al. (2023), land use is predetermined during the zoning phase, where land parcels are assigned specific categories and allocated to enterprises. Therefore, the purposefulness and efficiency of land use are determined by its intended designation.

The legal framework in the Republic of Lithuania (Lietuvos Respublikos..., 1994; Lietuvos Respublikos..., 1993; Lietuvos Respublikos..., 1994; Lietuvos Respublikos..., 1995) strictly regulates landowners' rights to protect, use, manage, and dispose of their land parcels. Land use is governed by the establishment of land-use conditions and their enforcement. These conditions must be recorded for each specific land parcel in the Real Property Cadastre and Register, along with other cadastral information. Individuals acquiring or beginning to use land must commit to adhering to these conditions. When new conditions are established based on territorial planning documents, they come into effect according to legal procedures, alongside other mandatory planning solutions. Land-use conditions involve requirements to use land according to its designated primary purpose, protect the environment, and comply with the specified land-use method, nature, and management regime outlined in territorial planning documents.

Research Methodology

This study focuses on the territory of Alytus district municipality. Alytus district municipality is distinguished by its diverse land use. The land use of Alytus district municipality can be seen as a model in which rational land use combines traditional land use with new possibilities for their use, such as rural tourism, recreation, and urbanization development. This balance between tradition and modernity is what makes this district special in terms of land use. The analysis of literature sources was conducted. Studies on the impact of urbanization on land use and the environment, agricultural development, and statistical methods used for territorial analysis were reviewed. Current legislation regulating land use and territorial planning in Lithuania was analyzed. This includes planning documents, laws, and regulations related to environmental and land use policies.

Statistical information was analyzed. The distribution of land areas, land use trends, and territorial changes in Lithuania were analyzed. Data on the structure of farms, crop areas, and trends in agricultural activities were examined. Data on agricultural land use and farming practices were assessed. Population data, demographic structure, and migration trends in urban and rural areas were reviewed.

For the research, spatial data sets available in the Lithuanian spatial information portal were also used: AŽ_DRLT – spatial data set of abandoned lands in the Republic of Lithuania, Dirv_DR10LT – spatial data set of soil in the Republic of Lithuania (Scale 1:10 000), Dirv_DR10LT – soil evaluation layers, Agricultural land use and crop area data set, Mel_DR10LT – spatial data set of land reclamation and waterlogging status in the Republic of Lithuania (Scale 1:10 000).

The national General plan and territorial planning document solutions (TPDRIS) were analyzed to understand the territorial development policies and urbanization trends in Lithuania. These documents provided insights into planned territorial changes and developments that might influence land use, especially in urban and rural areas.

For the analysis of urbanized areas, data from the Official statistics portal was used. This portal provides information on urban and rural development, demographic changes, and their relationship to land use. This allowed for identifying key factors influencing urbanization processes and evaluating their impact on land use.

Results and Discussion

Alytus district municipality is located in the southern part of Lithuania, with the Nemunas river flowing on both sides. The area of Alytus district municipality is 140340 hectares, and it includes 2 cities, 3 towns, and 426 villages. According to data from the state enterprise Centre of registers, as of January 1, 2024, the population of Alytus district municipality was 28194.

Analyzing the distribution of land use types from 2019 to 2024, it was found that the land use areas changed annually (Table 1).

1 Table

Land use types in Alytus district municipality for the period 2019 – 2024

Land use types	Area	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Agricultural land	ha	78311.52	78312.99	77342.02	77353.51	77354.48	76881.03
	%	55.80	55.80	55.11	55.12	55.12	54.78
Forests	ha	34760.85	34759.75	34709.93	34688.59	34689.4	34698.71
	%	24.77	24.77	24.73	24.72	24.72	24.72
Other land	ha	11345.64	11346.3	12095.46	12121.79	12121.74	12374.45
	%	8.08	8.08	8.62	8.64	8.64	8.82
Land covered by water bodies	ha	7833.51	7833.66	7910	7909.9	7910.44	7981.06
	%	5.58	5.58	5.64	5.64	5.64	5.69
Built-up areas	ha	5638.24	5637.18	5804.96	5789.96	5788.47	5911.13
	%	4.02	4.02	4.14	4.12	4.12	4.21
Roads	ha	2450	2449.44	2477.63	2476.1	2475.51	2493.79
	%	1.75	1.75	1.76	1.76	1.76	1.78

Source: Compiled by the authors based on data from www.zisis.lt

In 2024, agricultural land in Alytus district municipality accounted for 54.78% of the total land area. The forest area decreased by 0.05% over the analyzed period. The area of roads increased by 0.03%. Built-up areas also showed an increase of nearly 0.2%.

A more detailed analysis of the cadastral areas that make up Alytus district municipality and the agricultural land within them reveals that in each cadastral area, the majority of the area is occupied by agricultural land (Figure1).

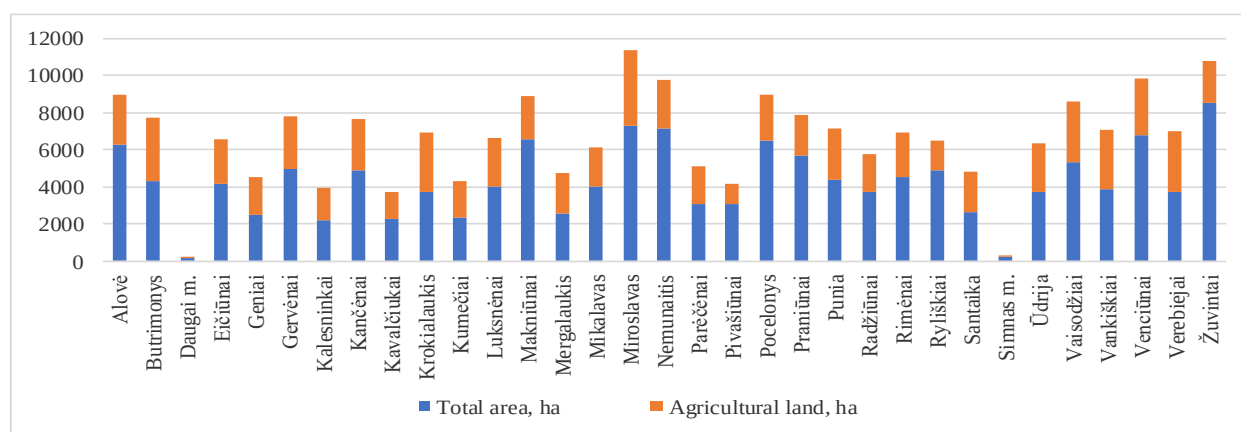


Fig. 1. The area of cadastral areas and the area of agricultural land as of 1st of January 2024

Source: Compiled by the authors based on data from www.zisis.lt

Based on the distribution of land use types, it was determined that the primary land use activities in the district remain agriculture and forestry. The preservation of agricultural land is most relevant in the Simnas, Krokialaukis, Miroslavas, and Alytus municipalities, where the land is more fertile, and agricultural production is more intensive. According to the provisions of the general plan, the decrease in agricultural land and the increase in forestry land is expected due to afforestation (once permitted) or the natural regeneration of abandoned agricultural and other land types into forests.

The increase in other land types is anticipated due to the development of Alytus, Daugai, and Simnas cities, as well as prospective local centers, industrial and manufacturing enterprises, commercial and other types of buildings, the exploitation of mineral resources, and the improvement of local road networks, which will involve converting agricultural or forestry land into other uses.

An analysis of the composition of agricultural land in cadastral areas revealed that in all cadastral areas, the majority of agricultural land consists of arable land (Figure 2).

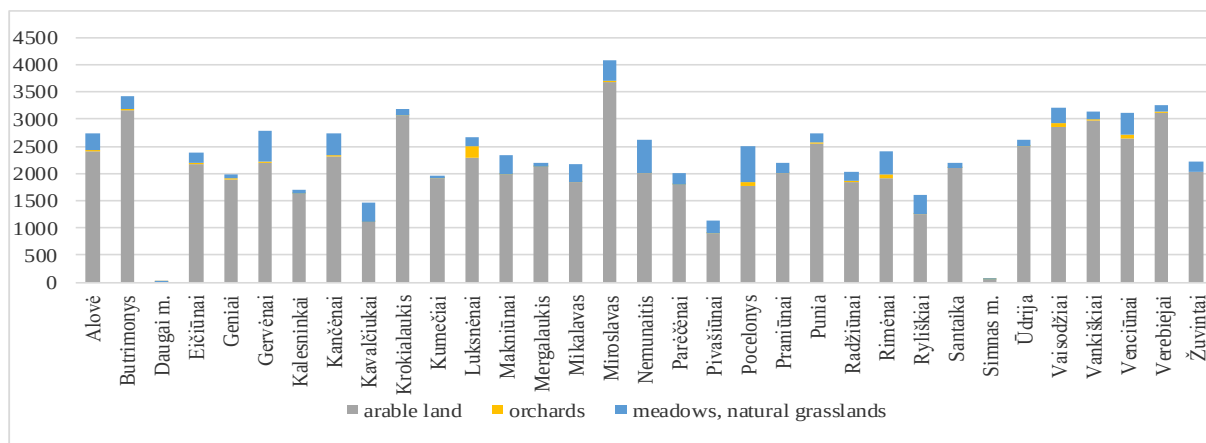


Fig. 2. Distribution of agricultural land in the cadastral areas of Alytus district municipality as of 1st of January 2024 *Source: Compiled by the authors based on data from www.zisis.lt*

An important indicator when analyzing land use is the land productivity score. The average land productivity score in Lithuania is 39.83 points, while in Alytus district municipality it is 35.81, which is lower than the national average. Based on the spatial data set of land productivity scores, it was determined that in the western part of the district (where calcareous shallow gleys and simple gley soils prevail), the productivity score ranges from 48-49 points to 55-56 points. In the Nemunas river valley and the eastern outskirts of the district (where sandy soils and eroded soils prevail), the score ranges from 28 points to 37-38 points. In other areas (where light-colored soils prevail), the score is between 43-44 points.

When discussing land use development, it is also important to analyze the regulations of the municipality's general plan (Figure 3).

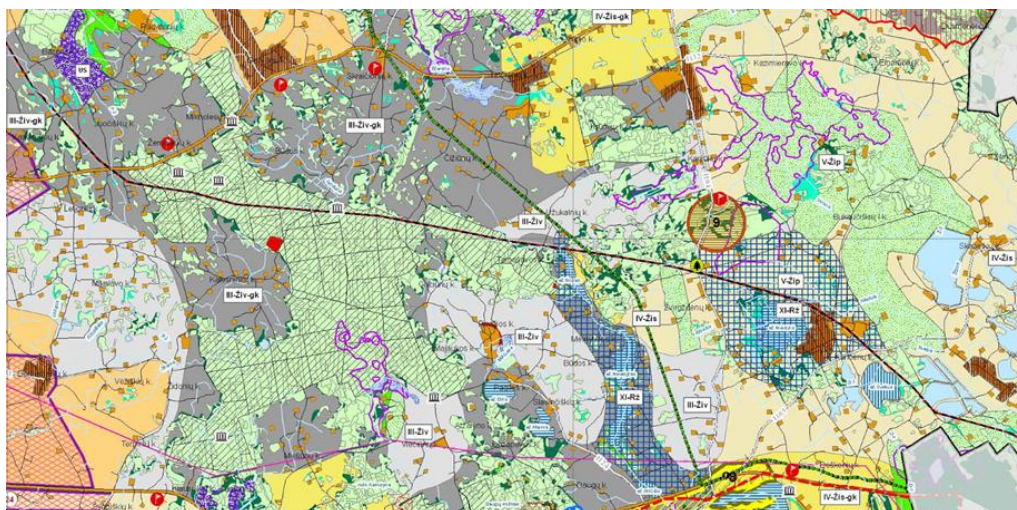


Fig. 3. Extract from the General plan of Alytus district municipality
Source: General Plan (www.tpdriis)

According to the general plan, agricultural land areas with priority land use for agricultural purposes (agricultural areas) in Alytus district municipality are divided into the following zones: Very high agricultural value land zone (I – Žia); High agricultural value land zone (II – Žiag); Medium agricultural value land zone (III – Živ); Light soil zone (IV – Žis); Meadow and pasture zone (V – Žip); Extensive farming zone (VI – Žek); Dovinė river basin zone (VII – ŽDB); Agricultural land within the protected areas zone (VIII – ST).

Drainage systems are also very important in land use. According to GIS data, the drained areas in Alytus district municipality are managed through drainage and ditches (Figure 4).

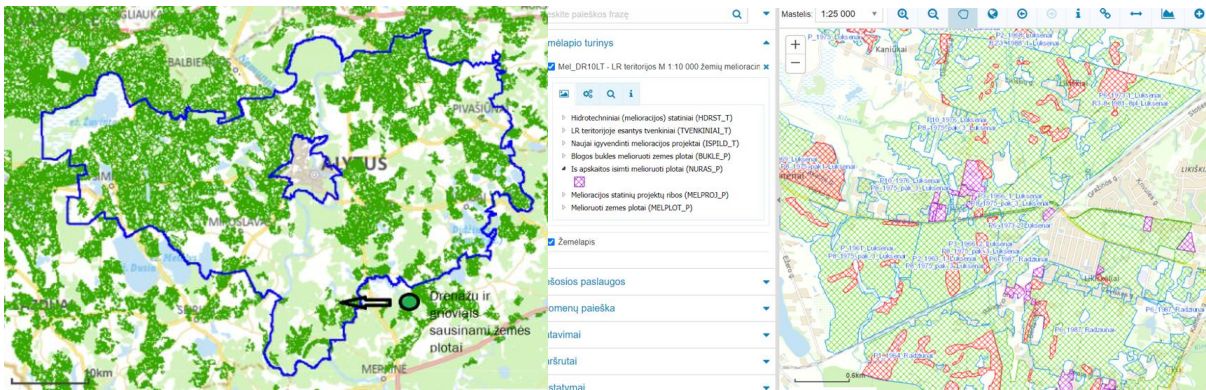


Fig. 4. Drained and ditch-drained areas in Alytus district municipality and land removed from drainage accounting

Source: Lithuanian spatial information portal (www.geoportal.lt)

It can be seen that most of the land is drained. In the western part, where fertile soils prevail, almost the entire area is drained. In the southern part, where less fertile soils are found, the area of drained land is smaller.

However, not all drainage systems are functioning properly. The Lithuanian Spatial information portal contains a spatial dataset on "Land removed from drainage accounting" (NURAS_P), which provides information about drained lands that have been removed from accounting (Figure 4). Analyzing these areas, it was found that there are not many such areas, and they are mostly concentrated around the city of Alytus and near Simnas. This data suggests that the renewal of drainage systems in Alytus district municipality is highly needed.

In 2019 compared to 2024, drained land in Alytus district municipality decreased by 3.1%, indicating that there are areas removed from accounting due to non-functioning drainage systems.

The same can be concluded from the analysis of poorly maintained drained land, which is widespread across the municipality. However, the largest concentration of such areas is around Alovė, Simnas, and the suburbs of Alytus. This suggests significant wear and tear on drainage systems in Alytus district municipality. New drainage projects indicate that 25 areas are being renewed, mainly along road 130 Alytus–Kaunas, near Karklynai and Batkūnai, as well as to the north of Simnas and Daugai.

Analyzing the geoportal.lt data, it can be concluded that the condition of drained lands in Alytus district municipality is average. Based on the geoportal data, it can be assumed that not all drainage systems are functioning well in all areas, which may result in poor crop yields or production outcomes for farmers.

It is also important to consider the distribution of abandoned lands in Alytus district municipality when analyzing land use. As of January 1, 2024, there are 1366.2 ha of abandoned land in Alytus district municipality (Figure 5).

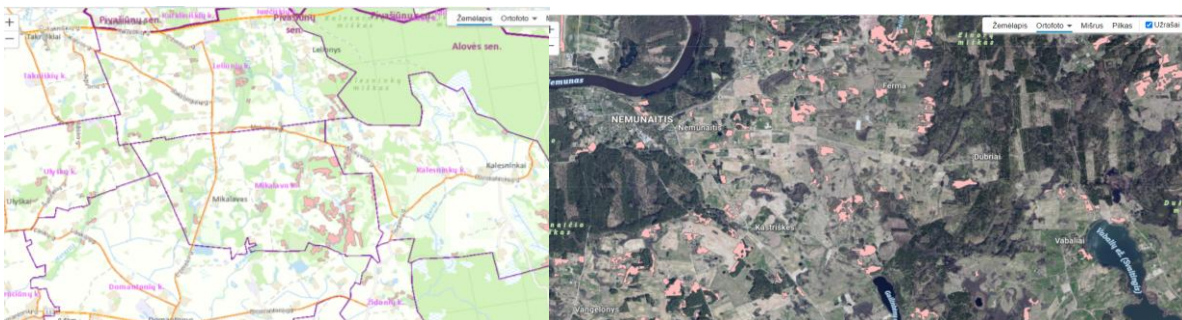


Fig. 5. Extract from the abandoned lands spatial data set

Source: Lithuanian spatial information portal (www.geoportal.lt)

Abandoned lands are present in all the municipalities of Alytus district municipality, but they are most prevalent in those municipalities with lower land productivity scores (such as Gervėnai, Mikalava, Nemunaitis, Alovė, and other cadastral areas). In total, there are 2499 abandoned land areas in Alytus district municipality (Figure 6).

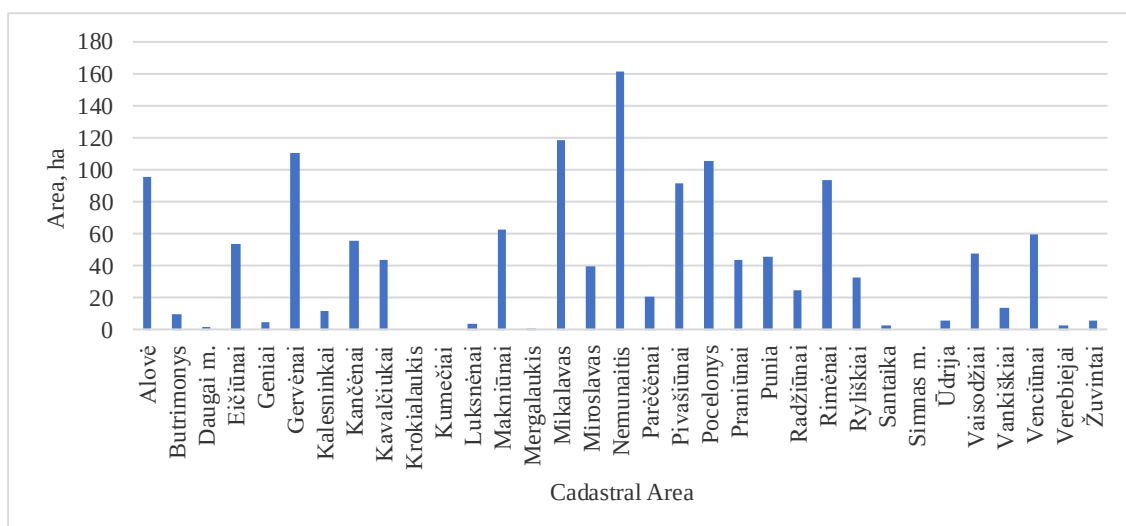


Fig. 6. Distribution of abandoned land in cadastral areas of Alytus district municipality as of 2024-01-01
Source: Compiled by the authors based on data from www.zisis.lt

The emergence of abandoned lands is closely related to the malfunctioning of drainage systems. Waterlogged areas arise due to non-functional drainage structures, rendering the land unsuitable for agricultural cultivation. Consequently, these areas gradually become overgrown with low-value vegetation, shrubs, and forests. This process is often observed in areas with low soil productivity scores.

The conditions for agriculture in the Alytus region are unfavorable, primarily due to natural factors such as terrain and soil quality. The General plan of the Republic of Lithuania identifies a key spatial-functional structure component: the zone of active and relatively active development, connecting areas of the highest economic activity with major urban centers and forming axes of metropolitan integration. According to a comprehensive regional evaluation, territories in Alytus county are categorized into areas of high and medium development challenges (Lazdijai district municipality and Varėna district municipality) and low development challenges (Alytus city municipality, Alytus district municipality, and Druskininkai municipality).

In Alytus district municipality, two elderships are classified as less favorable for agricultural activities. However, in other elderships, the land is suitable for agriculture, as evidenced by the analysis of agricultural land use and crop declaration data. In 2019, farmers submitted 5020 applications declaring 64987.15 hectares of land. Analyzing the number of farmers and their land reveals an increasing trend in the number of farmers in Alytus district municipality (Table 2).

Table 2

Number of farms, total land area, and average farm size (2022–2024)

	Number of farms	Total farms land area, ha	Average farm size, ha
In Lithuania, 2024	87837	1362283.54	15.51
In Lithuania, 2023	87167	1384861.30	15.89
In Lithuania, 2022	87637	1362785.86	15.55
In Alytus county, 2024	7128	74874.66	10.50
In Alytus county, 2023	6984	75681.84	10.84
In Alytus county, 2022	6946	73902.77	10.64
In Alytus district municipality, 2024	3124	33993.21	10.88
In Alytus district municipality, 2023	3076	34507.51	11.22
In Alytus district municipality, 2022	3093	34447.73	11.14

Source: Compiled by the authors based on data from the SE "Agricultural information and rural business center"

In 2024, the average farm size in the Republic of Lithuania was 15.51 ha, while the average farm size in Alytus district municipality was only 10.88 ha, which is smaller than the national average.

In Alytus district municipality, the majority of farms engage in mixed agricultural activities. Some farmers specialize in livestock farming, such as raising beef cattle, while others focus on crop production. There are also mixed farmers who lean more toward livestock farming, particularly dairy or meat production. Additionally, one fish farming enterprise is registered in the Daugai eldership of Alytus district municipality.

When analyzing urbanized area expansion, it is essential to identify the indicators most significantly contributing to the growth of built-up areas. A statistical analysis was performed based on selected criteria. Correlation analysis was conducted using all selected indicators to determine relationships among the factors examined. Statistical data covering five years (2019–2024), potentially influencing urbanization levels, were collected to assess changes in urbanized areas within Alytus district municipality (Table 3).

Table 3

Key indicators for Alytus district municipality

Year	Urbanization level (%)	Total permanent residents	Urban permanent residents	Number of incoming residents	Number of outgoing residents	Number of enterprises	Unemployment rate in the county (%)	Number of sold land parcels (other purpose)	Built-up area (ha)	Road area (ha)	Total urban land area (ha)	Registered other purpose land area (ha)
019	6.1	6112	538	69	050	27	.2	007	517.98	880.45	036.61	888.51
020	6.2	5806	458	43	73	29	3.7	120	549.15	903.31	036.61	017.54
021	6.3	5286	843	63	38	29	0.5	233	539.79	900.59	036.69	109.36
022	6.3	5010	711	10	02	26	.3	299	544.02	899.99	036.69	201.70

Source: Compiled by authors

The provided data outlines key trends in urbanization, population, economic activity, and land use in Alytus district municipality over a six-year period. The urbanization level remained relatively stable, increasing marginally from 36.1% in 2019 to 36.3% in 2024. The total number of permanent residents showed a consistent decline, dropping from 26112 in 2019 to 24926 in 2024. This reflects depopulation, a trend often observed in rural areas of Lithuania. Migration dynamics varied, with a notable increase in incoming residents in 2024 (1.304) compared to previous years. Outgoing residents peaked at 1061 in 2024, maintaining a negative migration balance overall. The unemployment rate fluctuated significantly, peaking at 13.7% in 2020, likely due to external factors such as the COVID-19 pandemic, before decreasing to 7.1% in 2024, reflecting economic recovery.

Urbanization level analysis revealed that the relationship between selected factors is sufficiently strong (a coefficient of up to 0.3 is considered a weak relationship, 0.3 to 0.7 indicates a moderate relationship, and values above 0.7 are considered strong (Bilevičienė et al., 2011)). The analysis of Alytus district municipality determined that strong relationships exist when comparing urbanization levels with the number of permanent residents, incoming residents, total urban land area, registered other-purpose land parcels, and other factors listed in Table 3.

To conduct a more detailed analysis, additional factors that may influence urbanization development were evaluated. Correlation analysis was used to identify relationships between built-up areas and the total land area, as well as between built-up areas and green spaces. Multivariate correlation analysis revealed a strong relationship between built-up areas and green spaces (Table 4).

Table 4

Determination and correlation coefficients for urbanization development assessment

The relationships between:	Coefficient of the linear equation a	Coefficient of the linear equation b	Coefficient of determination R ²	Correlation coefficient R
Built-up areas and total area	9.89	2358	0.3581	0.6
Green spaces and total area	1.49	2565	0.6875	0.8
Built-up areas and green spaces	0.08	245	0.3705	0.5

Source: Compiled by authors

After performing a correlation analysis, it was determined that the strongest linear relationship exists between green spaces and total area. An analysis was also conducted considering foreign investments. The data obtained show that there is a relationship between urbanized areas and population size, foreign investments, and agricultural land use. A more detailed analysis was conducted on the elderships, where it was

found that there is an increase in built-up areas. When analyzing the selected areas, data was collected based on 11 factors (Table 5).

Table 5

Data of selected locations in Alytus district municipality influencing urbanization

Eldership	Population (2011)	Population (2023)	Built-up area (ha)	Eldership area (ha)	Population density (2023) (people/km ²)	Agricultural land area (ha)	Water body area (ha)	Forests and greenery (ha)	Average productivity score	Avg. Distance to district center (km)	Avg. Distance to county center (km)	Real estate market value (€ per ha)	Ecological stability coefficient (ESC)	Road length (km)
Simnas	1745	1685	1014	6557	23	4019	85	113.6	42.8	13.2	26.7	9500	0.6	59
Daugai	1456	1566	1100	9939	21	6256	78	72.25	41	13.6	38.8	8800	0.78	76
Alytus	9099	9840	1500	8112	25	5023	58	1250	26.62	0.5	38.8	9000	0.69	147

Source: Compiled by authors

After analyzing the factors influencing the built-up area in the selected three elderships of the Alytus district municipality, it was found that the largest municipality by area is Alytus eldership. When calculating land use areas in the land information system, it should be noted that the areas may differ from the total existing area. Alytus has the highest density (25 people/km²), consistent with its larger built-up area. The ESC is a metric used to assess the balance between natural and anthropogenic (human-made) elements within a given territory. It provides an indication of how well the natural environment is preserved and its capacity to maintain ecological functions, such as biodiversity, water quality, soil fertility, and climate regulation. Higher ESC values suggest that the area is ecologically stable, with a well-preserved natural environment that can withstand environmental and human pressures. Daugai has a well-maintained ecological balance. Simnas, although ecologically stable, the lower ESC might result from smaller forest and greenery coverage (113.6 ha) and a higher proportion of built-up areas. Alytus has extensive forests (1250 ha) and greenery, its higher urbanization (largest built-up area of 1500 ha).

Analyzing the urbanization characteristics of the Alytus district municipality, it can be concluded that the municipality has favorable conditions for urbanization, as the population in the Alytus district is gradually increasing. The most significant factors influencing the changes in urbanizing and urbanized areas are water bodies, forests, and greenery, while population changes play a less significant role.

Conclusions

1. An analysis of scientific literature has established that rational land use is ensured by all land users in the production process by implementing land use objectives, taking into account land protection and optimal interaction with natural factors.

2. Analyzing the changes in land use areas in the Alytus district municipality during 2019-2024, it was determined that land use areas varied every year. In 2024, agricultural land in Alytus district municipality accounted for 54.78% of the total land area. Over the analyzed period, the forest area decreased by 0.05%. The built-up areas increased by 0.19%.

3. Based on the spatial data set for soil productivity scores, it was found that in the western part of the district (dominated by shallow, carbonate-rich, leached soils and simple leached soils), the productivity score ranged from 48-49 to 55-56 points. In the Nemunas valley and the eastern parts of the district (dominated by sandy soils and eroded soils), the score ranged from 28 to 37-38 points. In other areas (dominated by white soils), the score ranged from 43-44 points. According to the general plan, agricultural land use priority areas in the Alytus district municipality are divided into 8 zones. Additionally, an analysis of poorly functioning land reclamation areas in the district revealed that such areas are spread across the entire municipality, with the largest concentration near Alovė, Simnas, and the suburbs of Alytus.

4. The main indicator of agricultural activity by farmers or land users is the crop and agricultural land use declaration data. Analyzing the declaration data from 2019 to 2023, it was found that different crops were declared each year. This indicates that farmers are pursuing rational and sustainable farming practices, applying crop rotation and alternating crops.

5. Based on the urbanization characteristics of the Alytus district municipality, it can be concluded that the conditions for urbanization are favorable due to the gradual increase in the population. The most significant

factor influencing changes in urbanizing and urbanized areas is water bodies, forests, and green spaces, while population changes play a lesser role.

References

1. Akin A., Erdogan N. et al. Evaluating the eddiciency of future crop pattern modelling using the CLUE-S approach in an agricultural plan. *Ecol Inform.* 2022. (71). DOI: [10.1016/j.ecoinf.2022.101806](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101806)
2. Bilevičienė, T., & Jonušauskas, S. (2011). Statistinių metodų taikymas rinkos tyrimuose: vadovėlis. 308 p.
3. Dorosh Y., Barvinskyi A. and et. al. Environmental and technological limitations as an effective tool of land management rational use and protection of lands. Ukraine, 2022. DOI: [10.31548/zemleustriy2022.03.04](https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.03.04)
4. Dorosh Y., Barvinskyi A. et al. Conceptual principles of formation og the system of rational agricultural land use. Ukraine, 2022. DOI: [10.31548/zemleustriy2022.01.05](https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.01.05)
5. Dubovitski A. A. et al. Priority tasks of improving the mechanism of rational land use in agriculture. Poland, 2022. DOI: [10.31442/0235-2494-2022-0-1-49-55](https://doi.org/10.31442/0235-2494-2022-0-1-49-55)
6. Yemets O., Hryhov O. et al. Accouting of land plots and rational use of landi in agriculture. National Academy of Sciences of Ukraine, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.4.17>
7. Tykhenko, R. et al. Research on the Influence of Ecological Sustainability of the Territory on Rational Land Use in Agricultural Enterprises in the Context of Food Security. PA: IGI Global, 2025. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8307-0.ch003>
8. Kanojia, M., Kamani, P. et al. Alternative agriculture land-use transformation pathways by partial-equilibrium agricultural sector model: a mathematical approach. *International Journal of Information Technology*, 2024, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s41870-024-02158-5>
9. Lagodzinska A. Rational use of land resources in the production of organic products. *Modern Economics*. 2022. 22(1). DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V22\(2020\)-21](https://doi.org/10.31521/modecon.V22(2020)-21)
10. Lietuvos Respublikos miškų įstatymas, 2024. [žiūrėta 2024-10-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.6036/asr>
11. Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymas. 2024. [žiūrėta 2024-10-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.5627/asr>
12. Lietuvos Respublikos teritorijų planavimo įstatymas. 2024. [žiūrėta 2024-10-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.23069/asr>
13. Lietuvos Respublikos žemės įstatymas. 2024. [žiūrėta 2024-10-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.5787/asr>
14. Liu P. J., Hu Y. C. et al. Land use optimization research on FLUS model and ecosystem service-settings Jinan City as an example *Urban Clim.* 2021. DOI: [10.1016/j.uclim.2021.100984](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100984)
15. Mirian, I., Pahlavanravi, A., & Khalilimoghadam, B. Effects of Land Use Change on Soil Wind Erodibility in the Horul Azim Marshland. *Eurasian Soil Science*, 2024, 57(4), 677-691. <https://doi.org/10.1134/S1064229323602664>
16. Mostafazadeh, R., & Talebi Khiavi, H. Landscape change assessment and its prediction in a mountainous gradient with diverse land-uses. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 26(2), 3911-3941. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02862-x>
17. Ullah, S., Qiao, X. & Abbas, M. Addressing the impact of land use land cover changes on land surface temperature using machine learning algorithms. *Sci Rep* 14, 18746 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68492-7>
18. Wu X. T., Wang S. et al. Land use optimization based on ecosystem service assessment. *Land Use Policy*. 2018. (72). DOI: [10.4018/979-8-3693-8307-0.ch003](https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8307-0.ch003)
19. Wu Z., Zhang X. et al. Emeryg evaluation of ecological ans economic value of water and soil resources in residential and industrial land based on energy analysis. *Ecological Indicators*. 2023. 145(4). DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.109692](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109692)

ALYTAUS RAJONO SAVIVALDYBĖS ŽEMĖS NAUDOJIMO VERTINIMAS TAIKANT KONTAKTINIUS IR NUOTOLINIUS TYRIMO METODUS

Santrauka

Žemė yra unikalus žmogaus ūkinės veiklos išteklis. Jos naudojimo vaidmuo yra daugialypis: tai pagrindinis žemės ūkio produkcijos auginimo šaltinis, erdvinė bazė pastatams, statiniams, keliams išdėstyti, nuosavybės teisių objektas, pirkimo - pardavimo, investicijų šaltinis. Tyrimo tikslas – įvertinti Alytaus rajono savivaldybės žemės naudojimą. Taikyti tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizės, duomenų lyginimo, statistinių duomenų analizės ir apibendrinimo. Straipsnyje atlikta Alytaus rajono savivaldybės žemės naudmenų sudėties bei ūkininkų ūkių naudojamos žemės statistinė analizė, išanalizuota erdvinių duomenų rinkinių informacija, susijusi su žemės naudojimu bei nustatyti veiksniai, įtakoiantys užstatytos teritorijos plėtrą.

Išanalizavus Alytaus rajono žemės fondo naudmenų kitimą 2019 – 2024 metais, nustatyta, kad, žemės naudmenų plotai kasmet kito. Pagal bendrąjį planą žemės ūkio paskirties žemės naudojimo prioritetą turinčios teritorijos Alytaus rajono savivaldybėje yra suskirstytos į 8 zonas. Reikšmingiausias veiksnys, turintis įtakos urbanizuojamų ir urbanizuotų teritorijų kaitai yra vandens telkiniai, miškai bei želdynai, mažiau reikšmingas – gyventojų skaičiaus kaita.

APLINKOS INŽINERIJOS TYRIMAI

ERDVINIŲ DUOMENŲ APIE SAVAIMINĮ ŽEMĖS APAUGIMĄ MIŠKU TYRIMAS VĮ VALSTYBINIŲ MIŠKŲ URĖDIJOS PRIENŲ REGIONINIAME PADALINYJE

Edita Abalikštienė, Daniela Uleckaitė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Santrauka

Lietuvoje dėl palankių gamtinių sąlygų nenaudojama žemė dažnai apauga savaiminiais želdiniais. Tokių plotų atsiradimą lemia įvairūs veiksniai: gamtiniai, socialiniai, demografiniai, ekonominiai, žemės ūkio politikos, istoriniai ir teisiniai. Remiantis Valstybinės miškų tarnybos duomenimis, privačiose žemėse yra apie 20 tūkst. ha savaiminiais želdiniais apaugusios ne miško žemės. Tyrimo tikslas – palyginti skirtingų oficialių internetinių prieigų pateikiamus duomenis apie savaiminį miško plitimą ne miško žemėse ir įvertinti, kokiuose dirvožemiuose šis plitimas vyksta. Tyrime naudojami oficialūs Miškų kadastro duomenys apie savaiminį miško plitimą, skirtingų laikotarpių ortofotografiniai žemėlapiai (1995–2024 m.) ir dirvožemio granuliometrinės sudėties erdviniai duomenys. Atliekamas duomenų palyginimas dviejose oficialiose internetinėse prieigose, kurios teikia erdvinius duomenis apie savaiminukus: Lietuvos erdvinės informacijos portale (geoportal.lt) ir geoinformacijos apie miškus portale (M-GIS). Taip pat tyrime įvertintos savaiminio miško plitimo tendencijos ir kokie veiksniai lemia šį procesą. Tyrimas buvo vykdomas VĮ Valstybinių miškų urėdijos Prienų regioninio padalinio teritorijoje. Jo rezultatai parodė, kad pateikiami erdviniai duomenys oficialiuose prieigose ne visada sutampa. Teritorijų apaugimas miškais dažniausiai įvyko dėl netinkamų sąlygų žemės ūkio veiklai – daugelyje vietų melioracija neveikia arba jos visai nėra. Sklypuose, esančiuose šalia miškų, spartesnį savaiminių miško želdinių plitimą lėmė vėjo pernešamos sėklos. Savaiminio želdinių plitimo mastą taip pat įtakoja laikotarpis, kiek laiko žemė buvo apleista, sklypų išsidėstymas ir dirvožemio derlingumas.

RAKTINIAI ŽODŽIAI. Savaiminukai, miško inventorizavimas, erdviniai duomenys.

Įvadas

Lietuvoje visa informacija apie miškus kaupiama Lietuvos Respublikos miškų valstybės kadastrė. Šis kadras yra pagrindinė miškų valdymo ir stebėsenos sistema, kurios duomenys nuolat atnaujinami remiantis miško valdytojų ir kitų duomenų teikėjų pateikiama informacija. Duomenys apima miško sklypų inventorizacijos rezultatus, atliktas ūkines priemones, nuosavybės ir administracinių ribų pokyčius bei informaciją apie naujai įveistus ar savaime išaugusius miškus. Tikslūs kadastro duomenys yra būtini dėl kelių priežasčių. Pirma, jie užtikrina teisinį aiškumą miško ir žemės nuosavybės klausimais. Antra, jie sudaro pagrindą tvariam miškų naudojimui, leidžiant tiksliai planuoti miškų atkūrimą, priežiūrą bei vertinti klimato kaitos ir biologinės įvairovės pokyčius. Galiausiai, kadastro duomenys yra reikšmingi ekonominiu požiūriu – jie padeda miškų savininkams ir valdytojams optimizuoti investicijas ir skaičiuoti ekonominius rodiklius.

Taip pat svarbu nustatyti kokie faktoriai įtakoja savaiminį miško plitimą. Šie duomenys padeda identifikuoti teritorijas, kuriose miško savaiminis plitimas yra aktyviausias, bei nustatyti, kaip dirvožemio granuliometrinė sudėtis, žmogaus veikla ar kiti aplinkos veiksniai skatina arba stabdo šį procesą. Žinojimas apie miško savaiminio plitimo veiksnius gali prisidėti prie efektyvesnės žemės ūkio ir miškų politikos formavimo bei palaikyti subalansuotą santykį tarp miškų ir kitų žemės naudojimo formų.

Tyrimo tikslas – palyginti skirtingų oficialių internetinių prieigų pateikiamus duomenis apie savaiminį miško plitimą ne miško žemėse ir įvertinti, kokio tipo dirvožemiuose šis plitimas vyksta.

Tiksliui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

1. Palyginti Lietuvos Respublikos miškų valstybės kadastro internetinės prieigos (M-GIS) ir Lietuvos erdvinės informacijos portalo (geoportal.lt) pateikiamus duomenis apie ne miško žemėse esančius savaiminukus.

2. Išanalizuoti dirvožemio granuliometrinę sudėtį ir kitus veiksnius, lemiančius savaiminį miškų plitimą ne miško žemėse.

Teorinės įžvalgos

Miškų plitimas yra aktuali tema ne tik Lietuvoje, bet ir pasauliniu mastu, ypač regionuose, kuriuose dėl palankių klimatinės ir gamtinių sąlygų miškai natūraliai plečiasi. Lietuva, esanti mišrių miškų geografinėje zonoje, pasižymi tinkamomis klimato, aplinkos ir dirvožemio sąlygomis, sudarančiomis palankias prielaidas miškams augti (Abalikštienė ir kt., 2024). Jei nenaudojami žemės plotai nebūtų integruoti į ūkinę veiklą, prognozuojama, kad per kelis dešimtmečius visa neužstatyta Lietuvos sausuma galėtų savaime apaugti miškais (Mozgiris ir kt., 2021; Straigytė ir kt., 2020).

Tyrimai rodo, kad miškai dažniausiai plinta teritorijose, besiribojančiose su jau egzistuojančiais miškais. Fortin ir kt. (2018) nustatė, jog savaiminis miškų plitimas intensyviausiai vyksta daugiametėse pievose (Garsia Criado ir kt., 2020; Wang ir kt., 2024) arba vietovėse (Trejo-Pérez ir kt., 2024), kur dėl sudėtingo reljefo ar

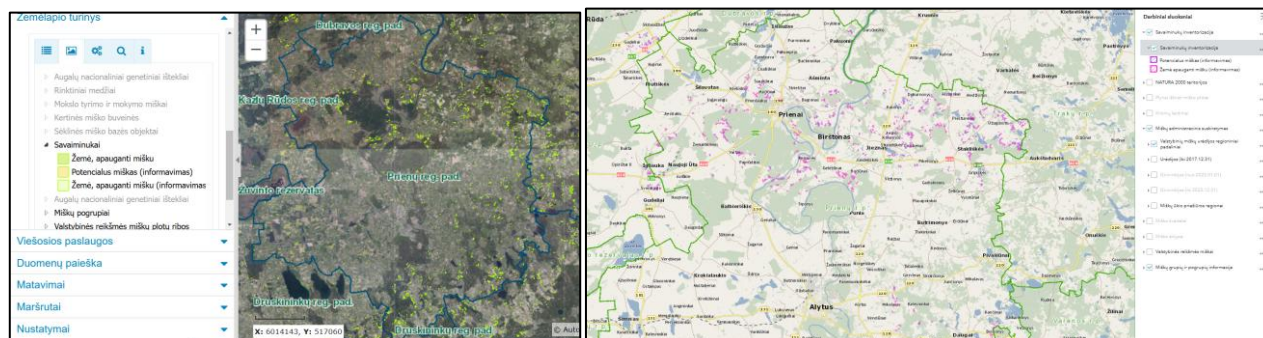
kitų gamtinių sąlygų intensyvi žemės ūkio veikla yra ribota (Harnesk ir kt., 2023). Šis procesas – natūrali miško ekosistemų raidos dalis, kurios tempą ir mastą lemia aplinkos sąlygos bei žmogaus veiklos nebuvimas (Sule ir kt., 2020; Boivin ir kt., 2018).

Savaiminio miškų plitimo analizė taip pat svarbi vertinant klimato kaitos poveikį (FAO, 2020). Tyrimų duomenys atskleidžia, kad dabartinės augmenijos rūšys yra mažiau prisitaikiusios prie klimato pokyčių nei ankstesnių epochų augalai. Flatley ir kt. (2016) pastebėjo, kad istoriniai miško medynai buvo geriau prisitaikę prie klimato svyravimų, palyginti su dabartinėmis augmenijos rūšimis, kurios susiduria su neprognozuojamu klimato kaitos poveikiu (Siry, 2015). Be to, reikšminga tyrimų kryptis apima savaiminio miško atsistatymą po stichinių reiškinių, tokių kaip gaisrai (Kabonen ir kt., 2023), ligos ar vėjovartos (Erdos ir kt., 2022). Šis procesas yra svarbus ne tik ekologiniu, bet ir socialiniu bei ekonominiu požiūriu. Miškų savaiminis plitimas prisideda prie anglies dvideginio absorbcijos, biologinės įvairovės išsaugojimo ir kraštovaizdžio struktūros formavimo (Enríquez-de-Salamanca, 2023).

Tyrimo metodologija

Atliekant tyrimą buvo taikyta sisteminė normatyvinių dokumentų, mokslinės literatūros ir erdvių duomenų analizė, siekiant įvertinti miško savaiminio plitimo procesus. Analizuoti normatyviniai dokumentai, reglamentuojantys nagrinėjamą temą: Lietuvos Respublikos miškų įstatymas, Lietuvos Respublikos miškų valstybės kadastro nuostatai, taip pat Medžių savaiminukais apaugusios ne miško žemės inventorizacijos ir įtraukimo į miško žemės apskaitą tvarkos aprašas bei Miškų inventorizacijos arba jos patikslinimo metu nustatytų duomenų patvirtinimo tvarkos aprašas. Tyrime atlikta mokslinės literatūros analizė, apimanti ankstesnius tyrimus ir teorines studijas, susijusias su miško savaiminio plitimo procesais.

Erdvinių duomenų analizė atlikta naudojant Valstybinės miškų tarnybos M-GIS internetinę svetainę, kurios pagalba surinkti duomenys apie medžių savaiminukais apaugusias teritorijas. Duomenys buvo lyginami su Lietuvos erdvinės informacijos portale (LEI) pateikta informacija apie ne miško žemę apaugančią mišku, siekiant nustatyti neatitikimus ir galimas klaidas (1 pav.).



1 pav. LEI portalo (kairėje) ir M-GIS internetinės prieigos (dešinėje) informacija apie savaiminukus.

Šaltinis: Sudaryta autorių

Tyrimui pasirinkta VI Valstybinių miškų urėdijos Prienų regioninio padalinio teritorija. Ši teritorija išsiskiria įvairiapusiškais miško augimo sąlygomis, kurios leidžia detaliai analizuoti miško savaiminio plitimo procesus. Atlikta LEI ir M-GIS internetinių prieigų duomenų lyginamoji analizė, identifikuojant informacijos apie savaiminukus neatitikimus.

Norint nustatyti miško savaiminio plitimo priežastis, atlikta 270 atsitiktinai pasirinktų sklypų analizė. Sklypų analizės metu naudoti skirtingų laikotarpių (nuo 1995 iki 2024 metų) M 1:10 000 skaitmeniniai rastriniai ortofotografinių žemėlapių duomenys. Dirvožemio granuliometrinei sudėčiai nustatyto naudoti Lietuvos dirvožemio erdviniai duomenų rinkiniai, kurie leido nustatyti ryšį tarp dirvožemio savybių ir miško savaiminio plitimo intensyvumo. Papildomai buvo analizuojama vyraujančių vėjų krypties, žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinė informacija, pasėlių deklaravimo duomenys.

Gautų duomenų lyginamoji analizė buvo atlikta taikant erdvių duomenų sintezę ir vizualizaciją siekiant patikimai įvertinti miško savaiminio plitimo tendencijas, sąlygas ir galimus neatitikimus.

Rezultatai ir diskusija

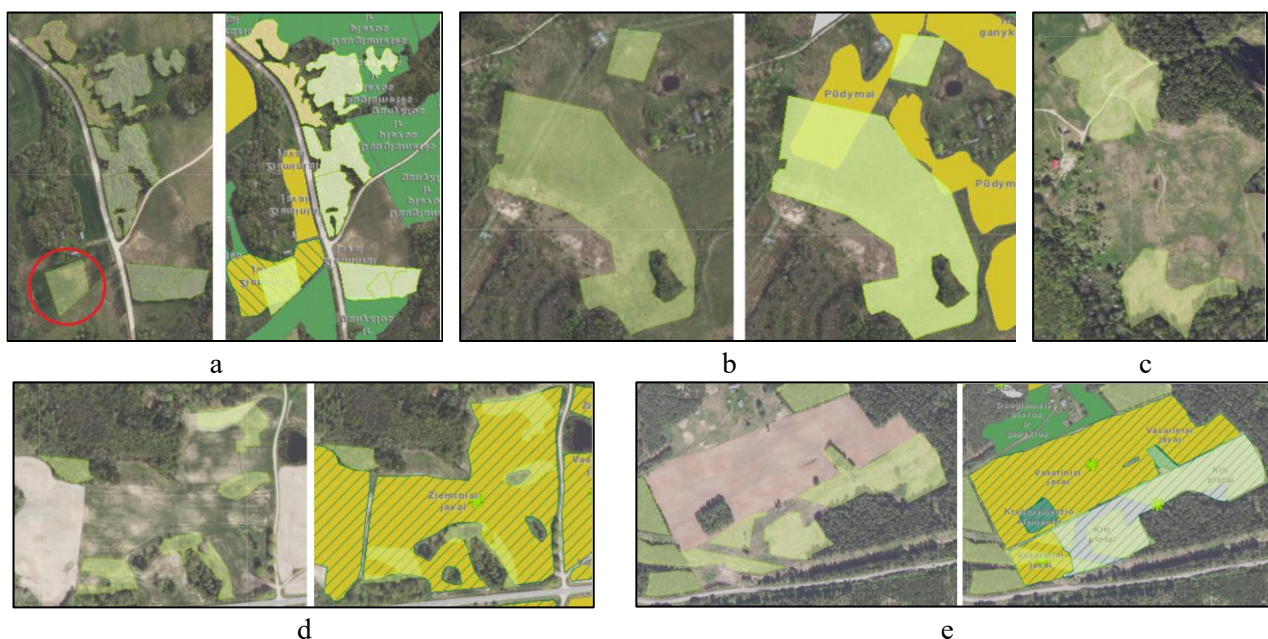
Pagal Lietuvos Respublikos Miškų įstatymo 13 straipsnio 2 dalį, atliekant miškų inventorizaciją, mišku apskaitomi ir į Lietuvos Respublikos miškų valstybės kadastrą įrašomi tik tie plotai, kuriuose augančių medžių savaiminukų vidutinis amžius yra ne mažesnis kaip 20 metų. Jaunesniais nei 20 metų medžių savaiminukais

apaugę plotai apskaitomi mišku tik žemės savininko pageidavimu, atlikus procedūras, kurios apibrėžtos Medžių savaiminukais apaugusios ne miško žemės inventORIZACIJOS ir įtraukimo į apskaitą tvarkos apraše.

Potencialiai mišku apauganti žemė dažnai būna užfiksuota įvairiose viešai prieinamose duomenų bazėse. Oficialūs duomenys apie savaiminukus pateikiami Miškų valstybės kadastro duomenyse, pasiekiamuose per M-GIS svetainę ir LEI portale.

Tyrime įvertinama LEI portalo teikiama informacija, analizuojant Miškų inventORIZACIJOS ir genetinių išteklių rinkinio duomenis. Šis rinkinys apima oficialią informaciją apie Lietuvos valstybinius miškus, pateikiamą per Nacionalinės miškų inventORIZACIJOS informacinę sistemą ir Genetinių miško medžių išteklių informacinę sistemą. Rinkinyje pateikia informacija apie savaiminukus, šie duomenys atnaujinami nuolat, kasdien.

Pagal metaduomenis nustatyta, kad savaiminukų sluoksnyje pateikti 2023 metų inventORIZACIJOS duomenys. Atliekant vizualinę duomenų patikrą naudojant 2024 metų M 1:10 000 mastelio skaitmeninį rastrinį ortofotografinį žemėlapi, nustatyta, jog kai kurie LEI portale pažymėti plotai kaip apaugę mišku neturi miško požymių, o juose vykdoma žemės ūkio veikla, dalyje tokių plotų yra deklaruoti pasėliai. 2 paveiksle pateikiami pavyzdžiai teritorijų, kuriose vykdoma žemės ūkio veikla, tačiau jos yra įtrauktos į savaime apaugančių žemių kategoriją.

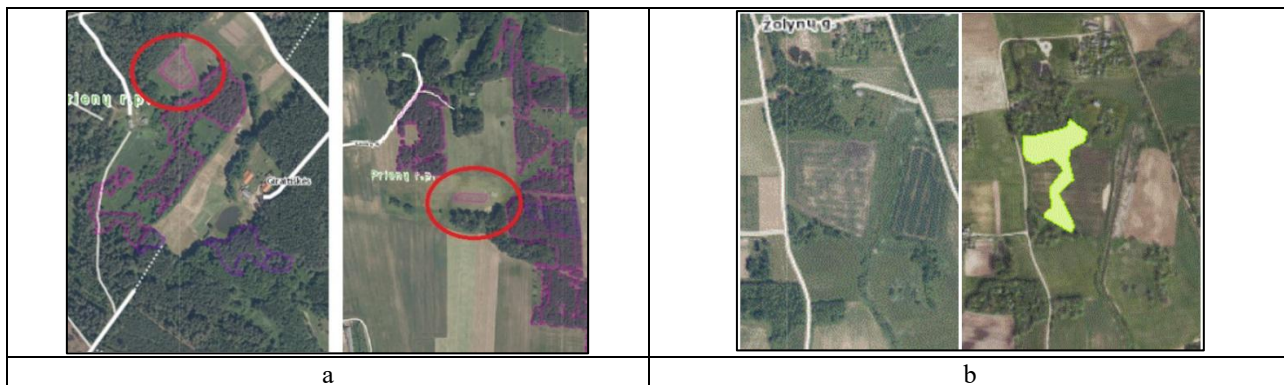


2 pav. LEI portale savaiminukams priskirti plotai, kuriuose vykdoma žemės ūkio veikla.

Šaltinis: sudaryta autorių pagal www.geoportal.lt

Vizualinės savaiminukų sluoksnio analizės metu nustatyta, kad Prienų regioniniame padalinyje yra 27 tokie plotai, pažymėti kaip apaugantys savaiminiu mišku, nors juose nėra miško augimo požymių.

Išanalizuojama M-GIS internetinio portalo teikiama informacija apie savaiminukus Prienų regioniniame padalinyje (3a pav.).



3 pav. a) M-GIS portale savaiminukams priskirti plotai, kuriuose vykdoma žemės ūkio veikla.

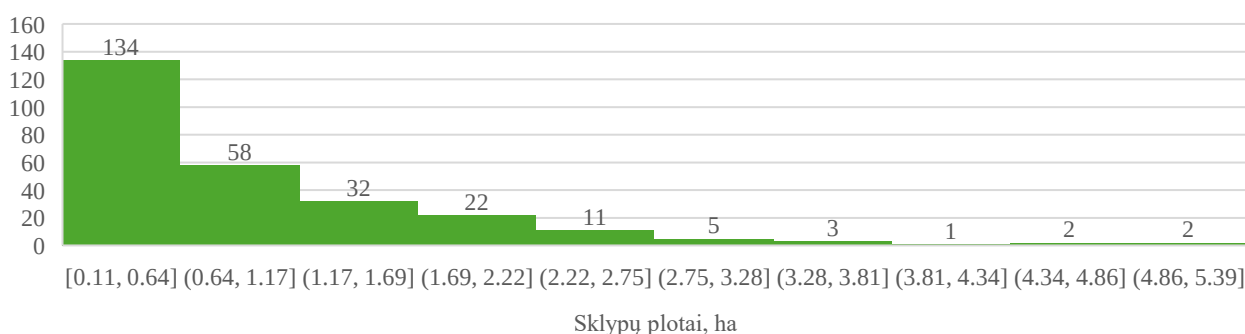
b) duomenų nesutapimas M-GIS (kairėje) ir LEI (dešinėje) portaluose

Šaltinis: sudaryta autorių pagal M-GIS ir www.geoportal.lt

2024 metų gruodžio duomenimis Valstybinių miškų urėdijos Prienų regioninio padalinio teritorijoje yra 2672 savaiminukų plotai, atlikus vizualinį duomenų vertinimą ortofotografiniame žemėlapyje rasti 2 plotai, kuriuose nėra savaiminio miško žėlimo požymių, bet jie priskirti žemei apaugančiai mišku.

Atlikus duomenų analizę nustatyta, kad Lietuvos erdvinės informacijos (LEI) portale pateikiamuose savaiminukų sluoksnio duomenyse rasta 27 plotai, pažymėti kaip apaugantys savaiminiais miškais. Tuo tarpu M-GIS sistemoje aptikta tik 2 analogiški plotai. Neatitikimai tarp šių portalų duomenų pateikimo rodo galimą problemą su duomenų sinchronizavimu arba techniniais duomenų atnaujinimo procesais (3b pav.). Lietuvoje visi valstybės erdviniai duomenys privalo būti pasiekiami Lietuvos erdvinės informacijos portale. Teikiamus duomenis galima peržiūrėti žemėlapyje, atsisiųsti, naudoti peržiūros paslaugas kitose sistemose, mobiliosiose programėlėse, tačiau šis duomenų nesutapimas ir netikslumas kelia klausimų dėl duomenų patikimumo, nes abu duomenų šaltiniai pateikia duomenis iš Miškų valstybės kadastro ir remiasi tais pačiais specifikacijų principais.

Atlikta atsitiktiniu būdu parinktų 270 sklypų, pažymėtų kaip savaiminiais miškais apaugę plotai, analizė siekiant įvertinti veiksnius, lemiančius savaiminį miško plėtimąsi. Analizė parodė, kad didžioji dalis šių savaiminių miško plotų yra nedideli, jų vidutinis plotas svyruoja nuo 0,1 iki 1 hektaro. Tik 5 iš visų analizuotų sklypų buvo didesni nei 4 hektarai (4 pav.).



4 pav. LEI portale pažymėtų savaiminukų sklypų pasiskirstymas pagal plotą
Šaltinis: sudaryta autorių

Savaiminis želdinių plitimas dažniausiai vyksta buvusių žemės ūkio naudmenų ribose, ypač šalia natūralių ar pusiau natūralių kraštovaizdžio elementų, tokių kaip esami miškai, upeliai, pelkės ar nelygaus reljefo laukai. Šiose teritorijose natūralūs barjerai ir ekologinės sąlygos skatina augalų savaiminį įsitvirtinimą bei plitimą.

Ortofotografinių žemėlapių vizuali analizė leidžia daryti prielaidą, kad savaiminis miško plėtimasis yra susijęs su gretimų miškų ar kitų želdinių buvimu, ypač vyraujančių vėjų kryptimi. Taip pat šį procesą reikšmingai lemia sumažėjęs žemės ūkio veiklos intensyvumas arba visiškas jos nutraukimas, dėl ko dirvožemio paviršius tampa tinkamesnis augalijos įsitvirtinimui (5 pav.).



5 pav. LEI portale savaiminukams priskirti plotai, esantys šalia miškų
Šaltinis: sudaryta autorių pagal www.geoportal.lt

Naudojant erdvinis dirvožemio duomenų rinkinius Dirv_DR10LT atlikta dirvožemio granuliometrinės sudėties analizė, siekiant įvertinti ryšį tarp dirvožemio savybių ir savaiminio miško plėtimosi intensyvumo. Ne

visuose analizuotose savaiminio plėtimus sklypuose yra dirvožemio granuliometrinės sudėties duomenys (1 lentelė).

1 lentelė

Savaiminukų plotų dirvožemio granuliometrinės sudėtis

Dirvožemio granuliometrinė sudėtis	Savaiminukų plotų skaičius	Savaiminukų plotas, ha
Molis	5	2,1911
Sunkus molis	5	5,0809
Puvena	10	7,4078
Durpė	12	28,9534
Nėra duomenų	34	27,8368
Priemolis	40	38,9615
Priesmėlis	60	60,4682
Smėlis	104	98,4245

Šaltinis: sudaryta autorių

Gauti rezultatai parodė, kad savaiminis miško plėtimasis intensyviausiai vyksta smėlinguose dirvožemiuose. Šios teritorijos pasižymi lengvesne granuliometrine sudėtimi, kuri sudaro palankias sąlygas medžių savaiminukų įsitvirtinimui ir augimui. Be to, smėlinguose dirvožemiuose dažnai nevykdoma intensyvi žemės ūkio veikla, nes jie turi žemą našumo balą ir yra mažiau tinkami derlingai žemės ūkio produkcijai auginti.

Sunkesniuose dirvožemiuose, tokiuose kaip moliai ar priemoliai, savaiminis miško plitimas yra retesnis. Tai siejama su jų platesniu panaudojimu žemės ūkyje.

Analizuojant skirtingų laikotarpių ortofotografinius žemėlapius, galima stebėti savaiminio žėlimo pokyčius konkrečiose vietovėse. Toks metodas leidžia vizualiai palyginti teritorijos būklę skirtingais metais ir tiksliai nustatyti augalijos tankumo, struktūros bei ploto pokyčius (6 pav.).



6 pav. Teritorijos pokyčiai (1995-1999, 2009-2010; 2018-2020; 2024 duomenys)

Šaltinis: sudaryta autorių pagal www.geoportal.lt

Ortofotografiniuose žemėlapiuose savaiminiai miško augimo procesai yra aiškiai matomi dėl jų būdingų spalvinių ir tekstūrinių požymių, kuriuos galima interpretuoti. Naudojant vis naujesnius žemėlapius, nustatomos vietos, kuriose atsirado nauji krūmai, medžių grupės ar užžėlimas. Šiuolaikinių žemėlapių aukšta skiriamoji geba (20 cm) leidžia ne tik matyti žėlimą, bet ir vertinti miško žėlinių tankumą bei plitimo intensyvumą.

Tyrimai rodo, kad nevykdant ūkinės veiklos, savaiminiai žėliniai pirmiausia atsiranda lengvesnio dirvožemio ir drėgnose vietovėse, o jų plitimas yra spartesnis tose teritorijose, kurios ribojasi su jau esančiais miškais arba kitais želdiniais. Laikui bėgant, šiose teritorijose formuojasi tankesni savaiminiai miško plotai, kuriuos galima identifikuoti net per kelis metus, ypač jei teritorija yra palanki natūraliam miško plėtimui.

Gauti rezultatai sutampa su anksčiau atliktais kitų autorių tyrimais, kad nederbamoje, miškingoje, buvusioje žemės ūkio paskirties žemėje plinta savaiminiai žėliniai. Be to, tyrimuose buvo įvertinta vėjo įtaka savaiminiam žėlimui. Intensyviausias savaiminis augimas stebimas pietinėje ir rytinėje miško ribos pusėse, kur vėjas dažnai neša sėklas iš jau esančių miškų. Tai rodo, kad vėjo kryptis ir jėga turi reikšmingą įtaką miško plitimo dinamikai, ypač tose teritorijose, kurios yra šalia nederlingų ar nepatogaus reljefo žemės ūkio paskirties plotų, kuriuose nevyksta intensyvi žemės ūkio veikla.

Atsižvelgiant į nustatytus veiksnius, galima teigti, kad teritorijų, kuriose vyksta savaiminis miško plitimas, pavertimas miško naudmenomis yra tikėtinas, jei ten vyrauja lengvos granuliometrinės sudėties dirvožemiai ir nėra perspektyvų vykdyti žemės ūkio veiklą. Tačiau svarbu apsvarstyti ir alternatyvas, kurios

galėtų būti naudingos žemės ūkiui. Tokiose teritorijose gali būti plėtojamas ekstensyvus žemės naudojimas, pavyzdžiui, įrengiant daugiameses pievas ar ganyklas, taip palaikant gerą aplinkosauginę agrarinę būklę, užtikrinant biologinės įvairovės išsaugojimą ir, tuo pačiu, prisidedant prie tvaraus kraštovaizdžio valdymo.

Išvados

1. Tyrimas buvo atliktas VĮ Valstybinių miškų urėdijos Prienų regioninio padalinio teritorijoje. Analizei naudoti Miškų kadastro duomenys apie savaiminukus (ne miško žemės sklypai, apaugantys mišku), skirtingų laikotarpių ortofotografiniai žemėlapiai (1995–2024 m.) ir dirvožemio granulimetrinės sudėties erdvinių duomenų rinkinys. Išanalizavus Miškų kadastro duomenis, nustatyta, kad Prienų regioninio padalinio teritorijoje yra 2672 ne miško žemės sklypai, kuriuose vyksta savaiminis miško plitimas. Atlikus duomenų palyginimą nustatyta, kad Lietuvos erdvinės informacijos (LEI) portale pateikiama informacija apie savaiminukus nesutampa su duomenimis, esančiais M-GIS internetinėje prieigoje. Šis neatitikimas pabrėžia būtinybę gerinti oficialių duomenų rinkinių sinchronizaciją ir užtikrinti vartotojams tiksliai suderintą informaciją.

2. Atlikus dirvožemio granulimetrinės sudėties ir kitų veiksnių analizę nustatyta, kad miško savaiminis plitimas vyksta teritorijose, kurios nėra tinkamos žemės ūkio veiklai dėl mažo dirvožemio derlingumo arba kitų nepalankių sąlygų. Sklypuose, esančiuose šalia miško, spartesnį miško savaiminukų įsigalėjimą lėmė vėjo nešamos sėklos. Savaiminis apaugimas taip pat priklauso nuo žemės apleidimo trukmės, kaip išsidėstę žemės plotai, ar jų konfigūracija bei dydžiai yra tinkami žemės dirbimui, ir koks yra dirvožemio derlingumas. Dirvožemio granulimetrinė sudėtis vaidina reikšmingą vaidmenį, nes lengvo arba vidutinio priemolio dirvožemiuose savaiminis miškų plitimas vyksta sparčiau nei sunkiuose moliuose ar smėlinguose dirvožemiuose.

Literatūra

1. Abalikstienė E., Gudritienė D., Salkauskienė V. Analysis of land with self-growing trees in Lithuania. *Baltic surveying international scientific journal*. 2024. Vol. 1(19) DOI: [10.22616/j.balticsurveying.2024.19.001](https://doi.org/10.22616/j.balticsurveying.2024.19.001)
2. Boivin P., Blois, S., Brisson, J. How well does bordering forest composition predict tree establishment in utility corridors? *Applied Ecology and Environmental Research*. 2018. 16(3), 3351–3361. https://doi.org/10.15666/aeer/1603_33513361
3. Enríquez-de-Salamanca, Á. Dynamics of mediterranean pine forests reforested after fires. *J. For. Res.* 2023. 34, 345–354. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01503-3>
4. Erdős L., Török P., Veldman JW, et al. How climate, topography, soils, herbivores, and fire control forest–grassland coexistence in the Eurasian forest-steppe. *Biol Rev.* 2022. 97:2195–2208. <https://doi.org/10.1111/brev.12889>
5. FAO. Global forest resources assessment. 2020. Main report. FAO, Rome
6. Flatley W. T., Fulé P.Z. Are historical fire regimes compatible with future climate? Implications for forest restoration. *Ecosphere*. 2016.7: e01471. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1471>
7. Fortin J. A., Fisher J. T., Rhemtulla J. M., Higgs E. S. Estimates of landscape composition from terrestrial oblique photographs suggest homogenization of Rocky Mountain landscapes over the last century. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2018. <http://dx.doi.org/10.1002/rse2.100>
8. García Criado M., Myers-Smith I.H., Björkman A.D. et al. Woody plant encroachment intensifies under climate change across tundra and savanna biomes. *Glob Ecol Biogeogr.* 2020. 29:925–943. <https://doi.org/10.1111/geb.13072>
9. Harnesk D., Pascual D., Olsson, L. Compound hazards of climate change, forestry, and other encroachments on winter pasturelands: a storyline approach in a forest reindeer herding community in Northern Sweden. *Reg Environ Change*. 2023. 23, 126. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02122-2>
10. Kabonen A., Gavrilova, O., Betelev V. Assessing reforestation after a fire using UAV. *E3S Web of Conf.* 2023. Volume 463. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346302024>
11. Lietuvos erdvinės informacijos portalas <https://www.geoportal.lt/>
12. Lietuvos Respublikos Miškų įstatymas. Galiojanti suvestinė redakcija nuo 2024-07-01. Valstybės žinios, 1994-12-14, Nr. 96-1872.
13. Medžių savaiminukais apaugusios ne miško žemės inventorizacijos ir įtraukimo į apskaitą tvarkos aprašas, patvirtintas Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministro 2012 m. gegužės 8 d. Nr. D1-409/3D-331 įsakymu.
14. M-GIS internetinė prieiga. <https://kadastras.amvmt.lt/>
15. Mozgeris G., Skorupskas R., Šviežikas I., Jasinavičiūtė A. Miškų plėtros ne miško žemėje Lietuvoje galimybių studija. 2021. https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/Misku_iveisimo_studija_ataskaita_2021-12-23.pdf
16. Siry J. P., McGinley K., Cubbage F. W., Bettinger P. Forest Tenure and Sustainable Forest Management. *Open Journal of Forestry*. 2015. 5, 526–545. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2015.55046>
17. Straigytė L., Činga G. Svetimų medžių rūšių auginimo galimybės ir apribojimai Lietuvos ir Europos sąjungos šalių miškuose. 2020. Mokslo studija <https://doi.org/10.7220/9786094674464>

18. Süle G., Balogh J., Fóti S. et al. Fine-Scale Microclimate Pattern in Forest-Steppe Habitat. *Forestry*. 2020. 11:1078. <https://doi.org/10.3390/f11101078>
19. Trejo-Pérez R., Chagnon P.L., Boivin P., Brisson J. Resistance against tree encroachment is driven by richness and identity of herbaceous resident species. *Applied Vegetation Science*. 2024. 27, e12781. <https://doi.org/10.1111/avsc.12781>
20. Wang Y., Liang E., Camarero J.J. Encroachment drives facilitation at alpine shrublines. *For Ecosyst* 2024. 11:100168. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100168>

INVESTIGATION OF SPATIAL DATA ON SELF-GROWN FOREST COVER IN THE PRIENAI REGIONAL UNIT OF THE STATE FOREST ENTERPRISE

Summary

In Lithuania, due to favourable natural conditions, unused land is often covered with self-growing plantations. The emergence of such areas is due to a variety of factors: natural, social, demographic, economic, agricultural policy, historical, and legal aspects. According to the State Forest Service, there are approximately 20,000 ha of non-forest land on private land covered with self-growing plantations. The aim of the study is to compare the data available from different official online sources on self-growing forest encroachment on non-forest land and to assess on which soils this encroachment occurs. The study uses official Forest Cadastre data on self-growing forest expansion, orthophotographic maps from different periods (1995–2024), and spatial data on soil granulometric composition. The data are compared between two official online accesses that provide spatial data on self-growing forests: the Lithuanian Spatial Information Portal (geoportal.lt) and the Forest Geoinformation Portal (M-GIS). The study also assesses trends in the spread of self-growing forest encroachment and identifies the factors driving this process. The study was carried out in the territory of the Prienai regional unit of the State Forest Enterprise. Its results showed that the spatial data provided in the official accessions do not always match. The forestation of the territories is mostly due to inadequate conditions for agricultural activities— in many places, drainage is not functioning or does not exist at all. In plots close to forests, wind-borne seeds were responsible for the faster spread of self-growing forest plantations. The extent of establishment is also influenced by the length of time the land has been abandoned, the location, and fertility of the plots.

LIETAUS VANDENS NAUDOJIMAS AUGALŲ LAISTYMIUI MEDELYNE

Tautvydas Kliučius, Gitanė Vyčienė

Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas

Anotacija

Daugelyje šalių lietaus vandens surinkimo sistemos diegiamos namų ūkiuose ir įmonėse, siekiant patenkinti didėjančią vandens poreikį, taip pat įgyvendinant aplinkosaugos tikslus. Analizei pasirinktas Kauno rajone esantis medelynas, atliktu tyrimu buvo siekiama įvertinti teorinio galimo surinkti kritulių kiekio, talpos tūrio pokyčius skirtingumo drėgnumo metais ir nustatyti medelyno vandens poreikį užtikrinimo galimybes. Sausais metais, kai vanduo kaupiamas nuo 394 m² stogų ploto, medelyno vandens poreikis bus tenkinamas 62 proc., bet keturis mėnesius poreikio deficitas turės būti dengiamas vandeniu iš kitų šaltinių. Įvertinus vidutinio drėgnumo metus, medelyno poreikis bus patenkintas 81 proc., o drėgnais metais visu 100 proc. Vertinant galimą sukaupti kritulių vandens kiekį, skirtingo drėgnumo metais buvo nustatyta, kad optimaliausia medelyne įrengti 2 požemines po 6,5 m³ talpas, kurios pilnai galėtų būti užpildomos drėgnais metais, o vid. drėgnumo metais veiktų su atsarga.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Krituliai, lietaus vandens surinkimo sistema, vandens talpos tūris.

Įvadas

Vandens tausojimas vis labiau skatinamas gamyboje, maisto bei chemijos pramonėje, taip pat ir žemės ūkio sektoriuje. Tai sąlygoja visame pasaulyje didėjanti vandens paklausa ir visuomenės susirūpinimas dėl vandens trūkumo. Vandens trūkumas fiksuojamas tiek paviršiniuose, tiek gruntiniuose vandenyse, o Jungtinės Tautos pažymi, kad vandens prieinamumas yra pagrindinė XXI amžiaus problema (Ringler ir kt, 2022).

Lietuva, kaip ir dauguma Europos valstybių turi gausius vandens išteklius, bet besikeičiančios oro sąlygos, augantis gyventojų skaičius ir didėjantys urbanizuoti plotai, skatina domėjimąsi alternatyviais vandens šaltiniais, o lietaus vandens surinkimas (Rainwater harvesting) yra perspektyvus sprendimas siekiant sumažinti paviršinio ir požeminio vandens naudojimą.

Taip pat svarbu paminėti, kad 2024 m. sausio 1 d. Lietuvoje buvo nustatyta prievolė vandens naudotojams (ūkiams, medelynams ir kt.) vykdyti paviršinio ir požeminio vandens naudojimo apskaitą jei sunaudojama 10 m³, o sunaudojant 100 m³ per parą ir daugiau vandens, nustatyta prievolė mokėti mokestį už sunaudotus gamtos išteklius (DĖL PAVIRŠINIŲ, 2023). Kaip teigia LR Aplinkos ministerija „tikimasi, kad apmokestinimas paskatins tautų vandens naudojimą arba privers ieškoti kitų ekonomiškai palankesnių sprendimų, pavyzdžiui, mažinti naudojamo vandens kiekį, keisti paviršinio vandens naudojimą sausrų metu požeminio vandens ištekliais arba surenkamu lietaus vandeniu“ (LR Aplinkos ministerija, 2024).

Lietuvoje lietaus vandens surinkimo technologijos ir jų taikymas ūkinėms reikmėms iki šiol mažai moksliniuose straipsniuose mažai analizuoti, nes nebuvo iki šiol didelio poreikio naudoti tokias technologijas. Tačiau pasikeitus teisiniam reglamentavimui, dažnėjant sausroms ir didėjant ūkių ir kitų vandens vartotojų susidomėjimui ši technologija tampa vis patrauklesnė. Tačiau be deatalių tyrimų sunku atsakyti koks teorinis ir realus tokių sistemų taikymo potencialas Lietuvos klimato sąlygomis.

Todėl šio tyrimas tikslas - įvertinti teorinio galimo surinkti kritulių kiekio, talpos tūrio pokyčius skirtingo drėgnumo metais ir nustatyti medelyno vandens poreikį užtikrinimo galimybes.

Tyrimo uždaviniai:

1. Nustatyti analizuojamo laikotarpio - sausų, vidutinių ir drėgnų metų kritulių kiekius;
2. Apskaičiuoti galimą sukaupti lietaus vandens kiekį nuo pastatų stogų skirtingo drėgnumo metais ir įvertinti ar jo pakaks tenkinti medelyno drėkinimo poreikius;
3. Nustati optimalų talpos tūrį pagal teorinį nuotekį nuo pastatų stogų.

Šio tyrimo objektas yra lietaus vandens surinkimo sistema ir jos svarbiausias elementas talpa, skirta augalų laistymui medelyne.

Literatūros analizė

Lietaus vandens surinkimo, saugojimo ir panaudojimo technologijos (RWH) yra plačiai pripažintos visame pasaulyje, o ypač sausringose kraštuose, kaip vienas iš efektyviausių būdų valdyti vandens išteklius įvairiems ūkinės veiklos tikslams.

Lietaus vandens surinkimo sistemų privalumai yra plačiai analizuojami jau du dešimtmečius mokslinėje literatūroje. Pavyzdžiui, Bruins ir kt. (1986) nustatė, kad sausringose vietovėse, kur vanduo yra pagrindinis žemės ūkio plėtrą ribojantis veiksnys, RWH technologijų naudojimas galėtų padidinti dirbamos žemės plotus 3–5%. Oweis ir Hachum (2003) įvertino, kad įdiegus RWH sistemas sausiausiuose regionuose sukauptu kritulių vandeniu būtų galima sumažinti vandens poreikį drėkinimui nuo 30 iki 50%. Moksliniai tyrimai pabrėžia didelį lietaus vandens surinkimo sistemų potencialą. Šios sistemos mažina priklausomybę nuo

paviršinio ir požeminio vandens, ypač regionuose, kuriuose dėl klimato kaitos dažnėja sausras. Urbanizuotose teritorijose RWH mažina potvynių pavojų, nes efektyviai valdomas lietaus vanduo leidžia naudoti mažesnio skersmens paviršinių nuotekų tinklus. Be to, sumažėja šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, nes RWH sistemos reikalauja mažiau energijos, reikalingos vandens išgavimui, valymui ir tiekimui (Lupia ir kt., 2017; Liaw, 2004; Che ir kt., 2009).

Nepaisant privalumų, RWH sistemoms būdingi ir tam tikri trūkumai. Šios sistemos yra priklausomos nuo sunkiai prognozuojamo kritulių kiekio ir baseino ploto, reikalauja reguliarios priežiūros ir gali būti pažeistos liūčių metu. Šių sistemų veiksmingumas taip pat priklauso nuo ekonominių, sociokultūrinių ir politinių veiksnių (Waqas ir kt., 2022; Liaw, 2004).

Šias sistemas sudaro trys pagrindiniai komponentai: nuotėkio baseinas (pvz., pastato stogas; nelaidus paviršius, toks kaip asfaltuota automobilių stovėjimo aikštelė), transportavimo sistema ir lietaus vandens surinkimo talpa. Pastaroji yra ne tik brangiausias, bet ir svarbiausias sistemos komponentas, nes talpos dydis tiesiogiai lemia sistemos veikimo patikimumą ir gebėjimą patenkinti naudotojo vandens poreikius (Ghisi, 2007; Santos ir Taveira-Pinto, 2013). Talpos dydis dažniausiai nustatomas pagal vandens balanso lygtį, atsižvelgiant į kritulių kiekį, vandens poreikį, nuotėkio koeficientą ir baseino plotą.

Šiuo metu RWH tyrimai koncentruojasi į dvi pagrindines sritis: optimalaus talpos dydžio nustatymą, atsižvelgiant į kritulių ir vandens poreikio dinamiką (Ghisi, 2007; Santos ir Taveira-Pinto, 2013), bei modeliavimo metodų taikymą, siekiant įvertinti šių sistemų efektyvumą (Lupia ir kt., 2017; Che ir kt., 2009)

Tyrimo metodika

Analizei pasirinktas Kauno rajone esantis „Garliavos medelynas“, kurio pagrindinė veikla yra augalų auginimas ir prekyba (1 pav.). Augalų laistymui vegetacijos sezono metu medelynas naudoja vandenį iš gręžinio, kuriuo laistomos dvi zonos su augalais - rytinėje pusėje augalai užima 1800 m², o vakarinėje pusėje 1480 m², iš viso reikalingas plotas laistyti yra 3280 m².



1 pav. Analizuojamas objektas „Garliavos medelynas“

Šaltinis: sudaryta autorių

Planuojama, kad lietaus vanduo bus surenkamas nuo 2 pastatų stogų (žr. 1 pav.), kurių plotas 200 m² ir 194 m². Stogai yra šlaitiniai, dengti skardos banguotais lakštais. Ant pastatų stogų iškrentantys krituliai nuteka į lietaus surinkimo latakus, o tada į lietvamzdžius ir nukreipiami į paviršinio vandens nuotakyną.

Kritulių analizei naudoti 2012-2022 m. duomenys iš Kauno meteorologinės stoties (54.884043; 24.438077), atstumas nuo medelyno iki meteorologinės stoties yra apie 4,3 km.

Lietaus nuotekų debito ir nuotėkio skaičiavimai atlikti vadovaujantis statybos techniniu reglamentu „Vandentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai“ STR 2.07.01:2003 9 priede pateiktomis formulomis. Skaičiuojant nuo pastatų stogų susidarantį lietaus nuotekų debitą, priimta 5 min trukmės liūtis pasikartojanti kartą per metus. Atsižvelgiant į baseino pobūdį ištvvinimo retmuo priimtas 10 metų, kai lietaus nuotakyno tiesimo sąlygos yra palankios, o nuotėkio koeficientas - 0,9 (pagal stogo dangą vadovaujantis STR 2.07.01:2003).

Skaičiuojant paviršinių nuotekų nuo stogo iš susidariusio nuotėkio buvo atimta 10 %, įvertinant galimus nuostolius (persiliejamą dėl intensyvių kritulių ir vėjo, išgaravimą nuo stogo dangos).

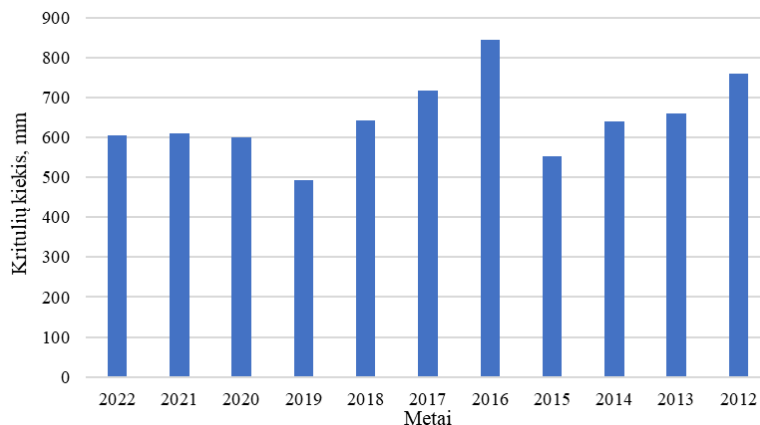
Medelynas kaupiamą vandenį numato naudoti augalų drėkinimui, o esant perteliui kitoms medelyno reikmėms pvz. augalų purškimui. Atliekant galimo sukaupti kritulių kiekio skaičiavimus priimta, kad medelyno vid. vandens poreikis – 50 m³/mėn., neatsižvelgiant į iškrentantį kritulių kiekį. Optimalus talpos tūrio parinkimas atliktas vadovaujantis įvade aprašyta užsienio mokslininkų metodika (trečiuoju variantu).

Medelyne numatoma montuoti požeminę lietaus surinkimo talpą, todėl krituliai galės būti kaupiami visus metus. Tokios sistemos privalumai – atspari šalčiui bei įrenginys stabilus požeminiam vandeniui (jei sumontuota pagal instrukcijas). Užėjus stiprioms liūtims sistema turi persipylimo mechanizmą, kuris užtikrina perteklinio vandens pašalinimą į nuotekų tinklus. Kai tik lietaus vandens talpa ištuštėja, siurblys gali automatiškai persijungti ir pumpuoti vandentiekio vandenį į talpą, jeigu yra poreikis, pvz., nuo rezervuaro

pajungus automatinę laistymo sistemą, kai yra būtinas ir nuolatinis vandens tiekimas į sistemą. Kai talpa prisipildo lietaus vandens, sistema automatiškai persijungia tiekti lietaus vandenį.

Rezultatai ir jų aptarimas

Moksliniuose šaltiniuose pabrėžiama, kad vertinant galimą sukaupti kritulių kiekį ir parenkant talpos tūrį svarbu naudoti kuo ilgesnę duomenų eilę ir vertinti skirtingo drėgnumo metus, nerekomenduojama talpos tūrio parinkti tik pagal vienų metų kritulius. Šiame tyrime analizuoti 11 metų vid. mėn. kritulių kiekiai (2 pav.). Vidutinis metinis kritulių kiekis Kauno rajone analizuojamu 11 metų laikotarpiu – 642 mm, lyginant su SKN (1991–2020 m.) 695 mm, t.y. 6,9 proc. mažiau kritulių (1 lentelė). Medelyne augalai dažniausiai pradedami laistyti balandžio mėn. ir laistoma visą vegetacijos laikotarpį, bet laistymo poreikis priklauso nuo vyraujančių klimatinių sąlygų. Vertinant vegetacijos laikotarpį (nuo kovo iki rugsėjo mėn.) vid. drėgnumo metais kritulių iškrito – 330 mm, bet pvz. 2015 m. vegetacijos laikotarpiu iškrito tik 188 mm t.y. tik 56 proc.



2 pav. Kritulių kiekis 2012-2022 m. Kauno rajone

Šaltinis: sudaryta autorių

Išanalizavus kritulių duomenis buvo išskirti trys svarbūs laikotarpiai: sausi, vidutiniai ir drėgni metai. Pasirinkti metai ir atitinkamos metinės kritulių sumos pateiktos 1 lentelėje.

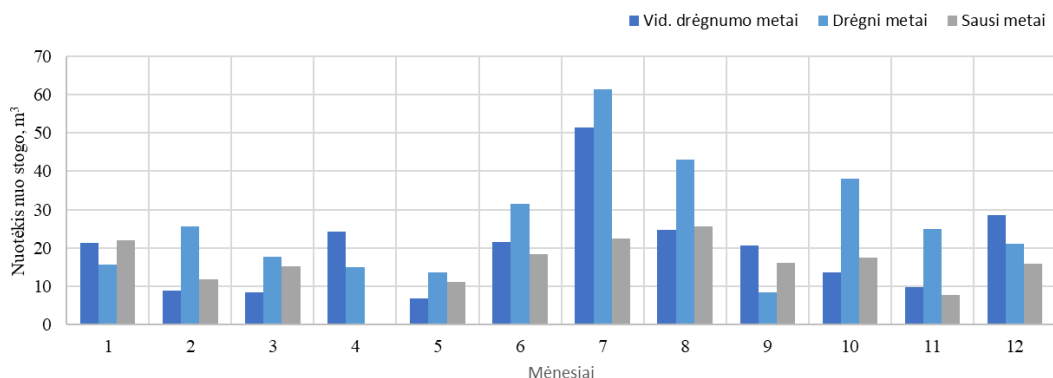
1 lentelė

Kritulių kiekiai skirtingo drėgnumo metais

	Krituliai (mm)	Metai
Sausi metai	492	2019
Vidutiniai metai	642	2018
Drėgni metai	844	2016

Šaltinis: sudaryta autorių

Sausais metais medelyne teoriškai galima sukaupti 184 m³ kritulių vandens (3 pav.), vegetacijos laikotarpiu 109 m³. Nors požeminėse talpose kritulių vanduo gali būti kaupiamas visus metus, laistymo sezono metu keturis mėnesius laistymo poreikis būtų didesnis, nei galimas sukaupti kritulių kiekis, todėl vandens poreikį reikėtų dengti iš kitų vandens šaltinių pvz. vandeniu iš gręžinio.



3 pav. Lietaus vandens nuotėkis skirtingo drėgnumo metais

Šaltinis: sudaryta autorių

Vidutinio drėgnumo metais, teoriškai galimas sukaupti kritulių vandens kiekis būtų 240 m³, o drėgnais metais 316 m³ (3 pav.). Vidutinio drėgnumo metais būtų galima patenkinti 81 proc. medelyno poreikių, bet net gausiais krituliais išsiskyrusį liepos mėnesį, surinkto kritulių kiekio nepakaks patenkinti medelyno poreikio. Drėgnais metais medelyno vandens poreikis būtų tenkinamas 100 proc. ir dar 20 m³ sukaupto vandens būtų galima naudoti kitiems medelyno poreikiams.

Parentant optimalų talpos tūrį buvo įvertintas galimas sukaupti vandens kiekis ir atimtas medelyno laistymo poreikis, jei vandens nuo poreikio tenkinimo lieka, jis lieka talpoje ir naudojamas kitą mėnesį. Parentant optimalų talpos tūrį būtina atsižvelgti į rinkoje esančius talpų pasirinkimus pagal tūrį ir medelyno galimybes įsirengti požeminę talpą.

Siekiant patenkinti medelyno vandens poreikius ir parinkti optimalų talpos tūrį, buvo atlikti skaičiavimai vertinant skirtingais metais iškrintusį kritulių kiekį ir mėnesinį medelyno poreikį (2 lent.).

2 lentelė

Rekomenduojamas talpos dydis pagal nuotėkio baseino plotą

	Nuotėkis (Sausi metai)/mėn.	Nuotėkis (Vidutiniai metai) /mėn.	Nuotėkis (Drėgni metai) /mėn.
Stogų plotas, 394 m ²	7,5 m ³	9,6 m ³	13,1 m ³
Talpos tūris, m ³	8 m ³	10 m ³	14 m ³

Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinant galimą sukaupti kritulių vandens kiekį per mėnesį skirtingo drėgnumo metais nustatytas optimalus talpos tūris medelynui yra 8 m³ sausais metais ir drėgnais metais 14 m³.

Kadangi vanduo bus surenkamas nuo 2 pastatų stogų, patogiausias sprendimas būtų įrengti po tokią talpą prie kiekvieno pastato, bet patogiausia būtų, kad vanduo nuo vieno pastato stogo būtų surenkamas 2 sistemomis iš kiekvienos pastato pusės, bet tada reikėtų montuoti tris talpas po 6,5 m³. Lyginant rezultatus su kitose šalyse atliktais tyrimais (Matos ir kt., 2013) pvz. Korėjos Aplinkos ministerija rekomenduoja parentant rezervuaro tūrį, vertinti baseino ploto ir talpos tūrio santykį, kuris yra 0,05 m³/m², tai atsižvelgiant į šias rekomendacijas medelyne reikėtų montuoti 20 m³ talpą. Bet įvertinus vidutinius kritulius Kauno rajone matyti, kad vienos talpos nepakaktų sukaupti visiems krituliams, o įrengiant tris net ir vandeningais metais būtų talpos užpildytos tik 75 proc. Todėl analizuojamu atveju siūloma įrengti 2 požemines po 6,5 m³ talpas, kurios pilnai galėtų būti užpildomos drėgnais metais, o vid. drėgnumo metais veiktų su atsarga.

Atliktas tyrimas leidžia tik preliminarai įvertinti galimus sukaupti kritulių vandens kiekius nuo medelyno pastatų stogų ir patvirtina, kad daugiausia talpos tūris priklauso nuo iškrintančių kritulių kiekio ir pastatų stogo ploto. Ilgesnė kritulių duomenų eilė leistų dar tiksliau įvertinti sukaupiamo vandens kiekius skirtingo drėgnumo metais, o tai leidžia tiksliau parinkti medelyno poreikiams optimalesnį talpos tūrį, mažinamos pradinės medelyno investicijos į sistemos diegimą ir padidinamas sistemos diegimo patrauklumas.

Išvados

1. Analizuojamu 2012-2022 m. laikotarpiu Kauno rajone mažiausiai kritulių iškrito 2019 m. tik 492 mm (sausieji metai), artimiausi vidutiniams metams buvo 2018 m., - 642 mm, o daugiausia kritulių iškrito 2016 m. – 844 mm (vandeningieji metai).

2. Sausais metais, kai vanduo kaupiamas nuo 394 m² stogų ploto, teoriškai galima sukaupti 184 m³ vandens ir medelyno vandens poreikis laistymui būtų tenkinamas 62 proc., bet keturis mėnesius poreikio deficitas turės būti dengiamas vandeniu iš kitų šaltinių. Įvertinus vidutinio drėgnumo metus, teoriškai galima sukaupti 240 m³ vandens ir medelyno poreikis bus tenkinamas 81 proc., o drėgnais metais medelyno laistymo poreikis turėtų būti patenkintas 100 proc.

3. Parentant optimalų talpos tūrį buvo atsižvelgta į rinkoje esančius požeminių talpų pasirinkimus pagal tūrį ir medelyno galimybes įsirengti talpas. Vertinant galimą sukaupti kritulių vandens kiekį, skirtingo drėgnumo metais buvo nustatyta, kad talpos tūris turėtų būti nuo 6 m³ iki 13 m³. Bet įvertinus vidutinius kritulius Kauno rajone nustatyta, kad vienos talpos nepakaktų sukaupti visiems krituliams, o įrengiant tris talpas net ir vandeningais metais, talpos būtų užpildytos tik 75 proc. Todėl analizuojamu atveju optimalu būtų įrengti 2 požemines 6,5 m³ talpas, kurios pilnai galėtų būti užpildytos kritulių vandeniu drėgnais metais, o vid. drėgnumo metais veiktų su atsarga.

Literatūra

1. Bruins, H.J.; Evenari, M.; Nessler, U. (1986) Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: The challenge of the African famine. Appl. Geogra. No. 6, pp. 13–32.
2. Che-Ani, A. I., Shaari, N., Sairi, A., Zain, M.F.M., Tahir, M.M. (2009). Rainwater Harvesting as an Alternative Water Supply in the Future. *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X Vol.34 No.1, pp.132-140.

3. DĖL PAVIRŠINIŲ VANDENS TELKINIŲ NAUDOJIMO VANDENIUI IŠGAUTI REIKALAVIMŲ IR PAVIRŠINĮ VANDENĮ NAUDOJANČIŲ ASMENŲ REGISTRAVIMO TVARKOS APRAŠO PATVIRTINIMO, 2023 m. rugpjūčio 25 d. Nr. D1-294, Vilnius. [prisijungta 2024-10-20]. Available: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/11e20170432111ee9de9e7e0fd363afc>
4. Ghisi E., Bressan D. L., & Martini M. (2007) Rainwater tank capacity and potential for potable water saving by using rainwater in the residential sector of south eastern Brazil. *Build. Environ.*, Vol. 42, pp. 1654-1666.
5. Liaw, C.H., Tsai, Y.L. (2004). Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 40, No. 3, pp. 901-912.
6. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. Keičiama Paviršinių vandens telkinių naudojimo vandeniui išgauti reikalavimų tvarka [prisijungta 2024-10-20]. Available: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/keiciama-pavirsiniu-vandens-telkiniu-naudojimo-vandeniui-iscgauti-reikalavimu-tvarka/>
7. Lupia, F., Baiocchi, V., Lelo, K., Pulighe, G. (2017) Exploring Rooftop Rainwater Harvesting Potential for Food Production in Urban Areas. *Agriculture*, Vol.46 No.7 (2017). <https://doi.org/10.3390/agriculture7060046>
8. Matos, C., Santos, C., Pereira, S., Bentes, I., Imteaz, M. (2013) Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-118, <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.004>.
9. Oweis, T.Y.; Hachum, A. (2003) Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa; Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D., Eds.; Water Productivity in Agriculture: Limits Opportunities for Improvement, CABI Publishing: Wallingford, UK; pp. 179–198.
10. Ringler, C., Agbonlahor, M., Barron, J., Baye, K., Meenakshi, J.V., Mekonnen, D. K., Uhlenbrook, S. (2022) The role of water in transforming food systems. *Global Food Security*. ISSN 2211-9124 Vol. 33, 100639. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100639>.
11. Santos, C., Taveira-Pinto, F. (2013) Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 71, pp. 1-6. doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.004.
12. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.07.01:2003 “Vandentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai“, 2003 m. liepos 21 d. Nr. 390, Vilnius. [prisijungta 2024-10-20]. Available online: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.EFD8078E42A8>
13. Waqas, M.S., Cheema, M.J.M., Hussain, S., Khalid, M.U., Khan, M.S. (2022) Rainwater Harvesting: A Sustainable Water Management Option for Irrigation of Public Parks. *Environ. Sci. Proc.* Vol.33 No.9, <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023009>

RAINWATER HARVERSTING FOR PLANT IRRIGATION IN NURSERIES

Summary

In many countries, rainwater harvesting systems are implemented in households and businesses to meet the growing water demand while supporting environmental sustainability goals. The study was conducted on a nursery in the Kaunas district to evaluate the theoretical amount of rainwater that could be collected from the nursery's building roofs and determine the optimal storage tank capacity. In dry years, when rainwater is harvested from a 394 m² roof area, the nursery's water demand will be met at 62 %, with a water deficit lasting four months that must be supplemented from alternative sources. In average moisture years, the water demand will be satisfied at 81 %, while in wet years, it will reach 100 %. Evaluating the potential amount of rainwater that can be harvested in years with varying moisture levels, it was determined that the optimal solution for the nursery is to install two underground tanks with a capacity of 6.5 m³ each. These tanks could be fully filled during wet years, while in average moisture years, they would operate with a reserve, ensuring a stable water supply for irrigation needs.

ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERINIŲ SISTEMŲ TYRIMAI

ROBOTO FIKSTŪROS DARBINIŲ KOORDINAČIŲ AUTOMATINIS REGULIAVIMAS

Vitalija Kuzmenkova¹, Rūta Jankūnienė²

¹UAB „Hella Lithuania“, ²Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Tipiškai, per didelę roboto fikstūros darbinių koordinačių paklaidą sukelia papildomas laiko bei kaštų sąnaudas, atsirandančias dėl sugadintų detalių bei koordinačių koregavimo rankiniu būdu. Šiame darbe gilinamasi į įterptinės automatizuotos AOI sistemos su kameros integracija realizavimo aspektus, siekiant realiu laiku nustatyti ir pagal poreikį reguliuoti roboto darbo koordinates. Autoriai pasiūlė inžinerinius sprendimus, leidžiančius tai realizuoti, įdiegus fikstūros koordinačių vizualų įvertinimą ir automatizuotai tikslinant roboto rankos koordinates pagal esamą fikstūros padėtį. Tam į *Seica* sistemą pasirinkta integruoti įterptinę vaizdo atpažinimo sistemą, kurios dėka robotas gali dinamiškai prisitaikyti prie savo darbo aplinkos pokyčių. Atlikus sistemos realizavimo metodų analizę, sudaryta projektuojamos sistemos struktūrinė schema, pasiūlytas programos algoritmas, atlikti jos derinimo bei AOI modulio funkcionalumo testavimo darbai, kurie atskleidė, kad robotas prisitaiko prie pasikeitusios objekto padėties ir/ar krypties, padeda detalę į teisingą poziciją ir tinkama kryptimi nepriklausomai nuo paėmimo pozicijos. Nustatyta, jog didžiausias aptiktas nuokrypis siekia 0,16 mm, kai detalės paėmimo ar padėjimo atveju leistinas nuokrypis siekia iki 0,5 mm.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Vaizdų atpažinimas, roboto fikstūros koordinatės, įterptinė AOI.

Išvadas

Gamybos įmonėse, eksploatuojančiose automatizuotas robotines sistemas, vienas iš svarbiausių uždavinių – pasiekti kuo didesnę jų tikslumą, taip užtikrinant efektyvius ir patikimus gamybos procesus (Lenkutis T., 2019). Tai ypač aktualu puslaidininkių gamyboje, elektroninių prietaisų ar automobilių pramonėje, kur taikomi aukšto lygio kokybės ir saugos standartai. Tam naudojamos įvairios automatinės optinės vaizdų atpažinimo sistemos AOI (angl. *Automatic Optical Inspection*), kurių dėka galima efektyviai kontroliuoti gaminių komplektaciją ir jų kokybę, pasitelkiant vaizdinę informaciją, taip pat prognozuoti bandymų apimtį bei gauti patikimus analizės rezultatus užtikrinamas aukštas gamybos efektyvumas. Pavyzdžiui, elektronikos pramonėje AOI technologija integruota į spausdintinio montažo plokščių PCBA (angl. *Printed Circuit Board Assembly*) surinkimo kontrolės procesą, kai atliekama tiek šių plokščių padengimo, tiek jose esančių išvadinių komponentų THD (angl. *Through Hole Device*) litavimo kokybės patikra [11].

Pati AOI technologija apjungia įvairiausias technologines sritis, tokias, kaip apšvietimą, mašininės regos kameras, didelės raiškos vaizdus ir jų apdorojimo programinę įrangą. Atlikta visa eilė mašininės mokymosi metodų tyrimų (angl. *Machine Learning*) (Iqbal H. S., 2021), (Anzai Y., 2012), kurių dėka žymiai efektyviau ir su didesniu patikimumu aptinkami defektai [2, 7]. Vaizdo apdorojimas ir analizė vizualinės apžiūros metu yra pagrindinės technologijos, leidžiančios gauti informaciją apie defektus, o gilusis mokymasis (angl. *Deep Learning*) daro didelę įtaką vaizdų analizės sričiai. Išsamus apšvietimo būdų, vaizdo apdorojimo giluminio mokymosi metodų taikymas defektų klasifikavimo ir jų lokalizacijos uždaviniuose, kaip ir tradiciniai defektų aptikimo algoritmai bei vizualinės apžiūros technologijos plėtros ateities perspektyvos aptariamos (Zhonghe Ren ir kt., 2022: p. 661-691). Vaizdų apdorojimo metodų taikymo galimybės PCBA kampų ir pozicijų AOI procese išnagrinėtos (Antonovaitė E. ir kt., 2023: p. 259-268) autorių darbe [1]. Platus šios tyrimų problematikos laukas tik parodo AOI technologijos vystymo poreikį.

Vienas svarbiausių aspektų, turinčių įtakos AOI veikimui, yra robotinio manipulatoriaus darbinių koordinačių tikslumas, t.y. erdvinė informacija, nukreipianti jo judėjimą tam tikroje aplinkoje. Jei dėl objekto poslinkio ar jo sukimosi įvyko padėties nustatymo klaida, ši sistema negali būti naudojama gamybos linijoje. Gebėjimas automatiškai patikslinti roboto rankos koordinates yra svarbiausias veiksnys, leidžiantis padidinti AOI operacijų patikimumą, nes mažiausias jos koordinačių nukrypimas gali sukelti proceso neefektyvumą, jo sutrikimus ar netgi klaidas. Automatizavus šį procesą, būtų užtikrinamas dinamiškas prisitaikymas prie darbo aplinkos pokyčių [11]. Tam buvo pasiūlytas automatizuotas koordinačių koregavimo modulis (Bedaka A. K. ir kt., 2021), gebantis nustatyti stebimo objekto padėtį ir robotinio manipulatoriaus pozicijos pakoregavimą pagal aptiktas poslinkio ar sukimosi klaidų vertes, tam panaudojant automatinio rankų ir akių kalibravimo ir PnP algoritmus [3].

Automatinės stoties *Seica* paskirtis - patikrinti surinktų spausdintinių plokščių (PCBA) elektrinį funkcionalumą. Veikimo principas – roboto ranka paima PCBA iš padėklo ir perkelia į testavimui skirtą poziciją pagal programoje numatytas koordinates. Joje testuojama 16 skirtingų formų ir dydžių gaminių, todėl kiekvienam iš jų yra naudojama skirtinga fikstūra (testavimo stoties keičiama įrenginio dalis, kuri užtikrina testuojamos detalės stabilumą proceso metu). Tačiau, keičiant fikstūrą, atsiranda jos koordinačių netoleruojamos paklaidos rizika, galinti sukelti proceso neefektyvumą ar net jo klaidas.

Gamybinio roboto automatizuotas prisitaikymas prie darbo aplinkos pokyčių leistų padidinti jau įdiegtos automatinės testavimo stoties *Seica* veikimo efektyvumą. Tam būtina išspręsti automatizuoto fikstūros koordinačių vizualaus vertinimo ir jų pakoregavimo problemą *Seica* stotyje. Kyla klausimas, kaip tai galima būtų realizuoti?

Tyrimo objektas – automatizuotas roboto fikstūros padėties reguliavimas stotyje *Seica*.

Tyrimo tikslas – pasiūlyti konceptualųjį sprendimą automatizuotam fikstūros koordinačių reguliavimui stotyje *Seica* ir jį realizuoti praktiškai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Aptarus techninius ir funkcinius reikalavimus roboto fikstūros padėties įvertinimo ir koordinačių koregavimo sistemai (toliau sistemai), pasiūlyti jos realizavimo testavimo stotyje *Seica* koncepciją, apimančią šios sistemos struktūrinę dalį bei jos veikimo algoritmą.

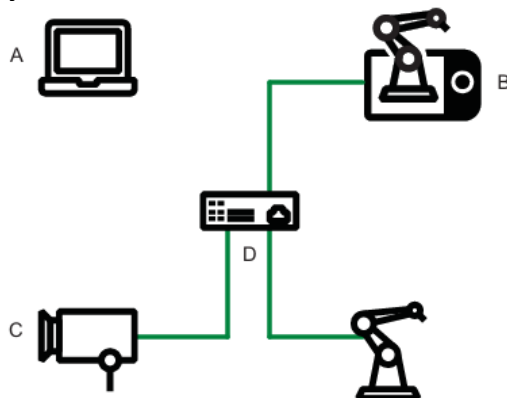
2. Sukurti AOI modulio sistemoje *Seica* prototipą, parenkant jam reikiamą elementinę bazę, optimalų montavimo sprendimą bei jį ištestuoti.

Tyrimo metodai ir priemonės: Automatinės testavimo stoties *Seica* analizė, padėsianti nustatyti funkcinius reikalavimus kuriamai sistemai. Sistemos struktūrinės schemas bei veikimo algoritmo sudarymas. Taip pat programavimo kodo, leidiančio sujungti atskirų prietaisų valdymą, parašymas bei programos simuliacija, padėsianti pamatyti reikalingas korekcijas, naudojant programą RT Toolbox 3.

Įvertinus tai, kas pažymėta aukščiau, reikalavimai įterptinei AOI sistemai automatinėje testavimo stotyje *Seica* suformuluoti skyrelyje „Techniniai ir funkciniai reikalavimai roboto darbinių koordinačių automatizuoto koregavimo sistemai“. Skyrelyje „Sistemos struktūrinė schema ir jos veikimo algoritmas“ pateikiami bei aprašomi pagrindiniai sistemą sudarantys funkciniai blokai bei paaiškinama sistemos veikimo logika, atskleidžiant fikstūros koordinačių automatinio koregavimo eigą. Skyrelis „Elementinės bazės parinkimas“ aprašo sistemos komponentus, kuriuos tikslinga įdiegti į jau veikiančią testavimo stotį *Seico*. Samprotavimai sistemos montavimui realiai veikiančioje *Seica* stotyje pateikiami skyrelyje „Sistemos montavimo sprendimas“. Skyrelis „Sistemos veikimo testavimas“ atskleidžiamas tiek pats sistemos veikimo tyrimas naudojantis prototipine sistema, tiek aptariamais gauti rezultatai. Straipsnio autorių atliktos technologinės analizės įžvalgos bei praktinių sprendimų roboto darbinių koordinačių automatizuoto koregavimo sistemai pagrindimas pateiktas šio straipsnio išvadose.

Techniniai ir funkciniai reikalavimai roboto darbinių koordinačių automatizuoto koregavimo sistemai

Sistemų su vaizdo atpažinimo funkcija asortimentas bei pritaikomumas pramonėje yra gana platus. ABB IRC5 paėmimo ir išdėstymo sistema DSQC1020 (angl. *Pick and Place*) su matymo funkcija (1 pav.) nukreipia roboto griebtuvą, kad surastų ir paimtų gaminius/detales iš konvejerio juostos, todėl galima lanksčiai automatizuoti surinkimo ir pakavimo procesus. Ši sistema leidžia nustatyti daiktų poziciją, kad būtų galima tiksliai juos paimti ir padėti, užtikrina, kad roboto ranka tinkamai sugriebtų daiktus, atsižvelgiant į jų orientaciją trimatėje erdvėje. Dėl šių savybių roboto ranka geba dinamiškai reguliuoti savo veiksmus, atsižvelgiant į darbo aplinkos pokyčius.



1 pav. Integruoto matymo Sistema IRC5: A – kompiuteris, D – roboto sistemos valdiklis, C – vaizdo jutiklis, B – roboto valdymo pultas [6]

IRC5 su DSQC1020 sistemos funkcijos: objekto aptikimas ir lokalizavimas, orientacijos nustatymas, optimalaus kelio planavimas, griebtuvo valdymas pagal objekto dydį, formą ir svorį, automatizuotas atsekamumas pagal brūkšninius ar QR kodus [6]. Remiantis šiuo analogu, nustatomi tokie funkciniai reikalavimai sistemai:

- Atskaitos taškų atpažinimo funkcija (mažiausiai trys taškai). Kamera turi gebėti atpažinti tris pažymėtus atskaitos taškus ir jų pozicijas. Du taškai esantys ant keičiamos fikstūros paviršiaus, bei vienas stacionarus taškas.

- Koordinačių nustatymo funkcija. Ši funkcija leidžia atlikti matematinius skaičiavimus (atstumas, kampas), kurie leistų nustatyti esamas koordinates.

- Duomenų perdavimo skaitine reikšme funkcija. Turi būti galimas duomenų perdavimas į programuojamą loginį valdiklį skaitine reikšme (koordinatės, išmatuotas atstumas).

- Roboto darbinių koordinačių koregavimo funkcija. Programuojamo loginio valdiklio pagalba, įvertinus paklaidą tarp numatytų ir realių koordinačių, roboto darbinės koordinatės turi būti pakoreguojamos automatiškai. Tam taip pat yra reikalingas šių funkcijų numatantis programavimo kodas.

Siekiant automatizuoti roboto darbinių koordinačių koregavimo procesą, tikslinga naudoti kelių rūšių jutiklius (pvz. ultragarsinį, lazerinį ar optinį), tačiau, atsižvelgus į tai, kad jau eksploatuojamos sistemos ardymas nėra negalimas, šie ultragarsiniai bei lazeriniai jutikliai negali būti integruoti. Todėl tinkamas pasirinkimas yra optinio jutiklio panaudojimas – kamerą, kuriai nereikia ardyti veikiančios sistemos. Kamerei keliamas tikslas - turi gebėti atpažinti mažiausiai tris atskaitos taškus, apdoroti gautus rezultatus, perduoti duomenis skaitine reikšme.

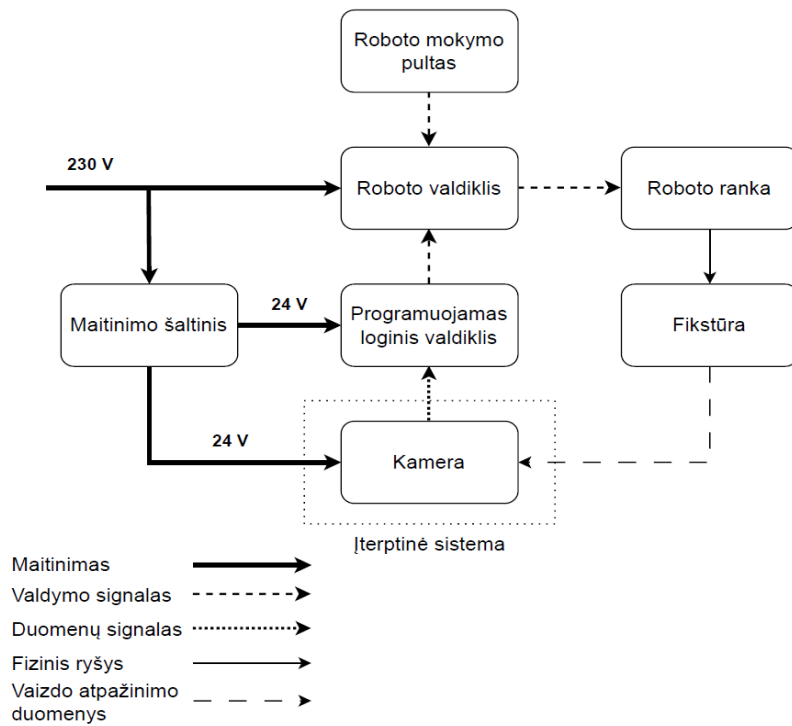
Kadangi keliamas uždavinys – įdiegti AOI sistemą, t.y. vaizdo atpažinimo funkciją į jau naudojamo gamybos procese roboto valdymą, todėl vaizdo kamerą tikslinga naudoti stacionarioje roboto darbo aplinkos vietoje. Kamera turi užfiksuoti realias fikstūros koordinates. Koordinačių nustatymas vyksta pikselių apdorojimo principu – kamera užfiksuoja vaizdą, kuriame matomas objektas, tuomet vaizdas suskirstomas į pikselius, kurių kiekvienas turi savo spalvos ir ryškumo reikšmę. Objekto kraštų ir bruožų aptikimui vaizde naudojami algoritmai. Taip pat kamera turi kalibravimo parametrus, kurie apibūdina jos lęšio savybes bei jutiklio padėtį. Naudojant šiuos parametrus bei geometrijos ir trigonometrijos principus, vaizde užfiksuoti taškai atvaizduojami realaus pasaulio koordinatėmis. Atlikus vaizdo užfiksavimo ir koordinačių nustatymo procesą, koordinatės perduodamos į programuojamą loginį valdiklį, kuris įvertina, ar yra reikalinga roboto darbinių koordinačių korekcija. Įvertinta, kad automatinėje testavimo stotyje *Seica* tikrinamų PCBA detalių padėjimo pozicijoms leistinas nuokrypis yra 0,5 mm. Šis nuokrypis nustatytas bandymų būdu – iš tinkamos pozicijos (kai fikstūros pozicionavimo kaištis yra PCBA pozicionavimo kiaurymės centre) slenkant PCBA 0,1 mm žingsniu. Esant 0,5 mm nuokrypiui, detalė ant fikstūros vis dar padedama tinkamoje padėtyje, o viršijus 0,5 mm paslinkimą – fikstūros kaištis kliudo PCBA paviršių, ir detalė neįstatoma į tinkamą poziciją. Numatyta, kad esant didesnei nei 0,5 mm paklaidai tarp realių ir numatytųjų roboto darbinių koordinačių, sistema automatiškai turi pakoreguoti roboto darbinės koordinates, kad detalė būtų tiksliai padedama į testavimo vietą. Kad ši sistema veiktų sklandžiai, labai svarbu suderinti prietaisų techninius parametrus.

Atsižvelgus į *Seica* stoties parametrus, sistemos vaizdo kameros ezoliucija turi siekti 1,6 MP 220 x 120 mm stebėjimo lauke. Aptariant atskaitos taškų žymėjimo lauką - sistemos atskaitos taškų išdėstymas numatomas 220 x 120 mm dydžio lauke. Taip pat sistemoje tikslinga naudoti programuojamą loginį valdiklį PLC (angl. *Programmable Logic Controller*) vaizdo duomenų apdorojimui, PROFINET ryšio sąsają bei 24 V maitinimo įtampą.

Sistemos struktūrinė schema ir jos veikimo algoritmas

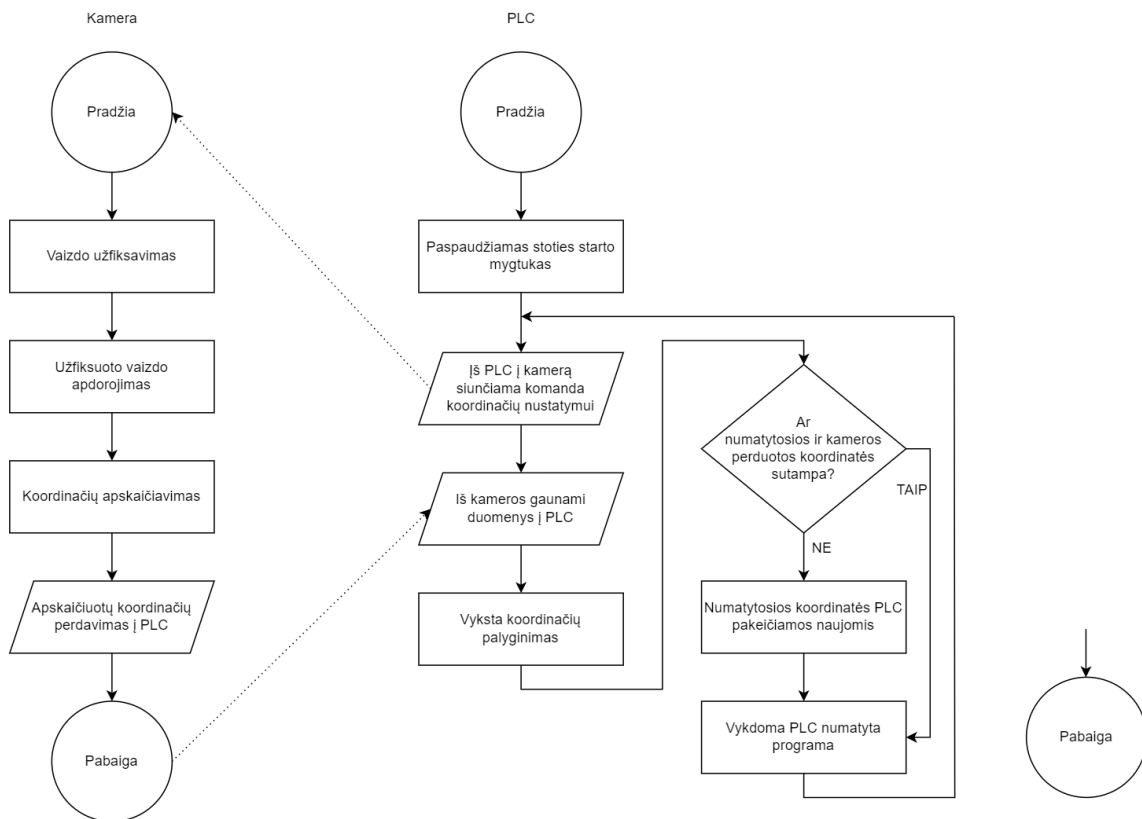
Struktūrinėje schemoje (2 pav.) vizualiai pavaizduotas automatizuotos roboto darbinių koordinačių koregavimo sistemos veikimo ir valdymo principas.

Sistemos maitinimui reikalinga 230 V kintama įtampa bei 24 V nuolatinė įtampa. 230 V įtampa skirta roboto valdiklio maitinimui, o 24 V nuolatinė įtampa skirta programuojamo loginio valdiklio PLC bei vaizdo jutiklio maitinimui. Vaizdo kamera yra įterptinė sistema jau veikiančioje roboto ir PLC sistemoje. Remiantis nurodytais parametrais, vaizdo kameros užfiksuotas ir apdorotas vaizdas – atpažinti trys atskaitos taškai ir jų pozicijos, ir pagal juos apskaičiuotos realios fikstūros koordinatės. Apskaičiuotos koordinatės duomenų signalu perduodamos į programuojamą loginį valdiklį. PLC įvertina (apskaičiuoja) realias pažymėtų taškų koordinates ir, esant poreikiui, pakoreguotas roboto darbinės koordinates. Iš programuojamo loginio valdiklio persiuntus valdymo signalą į roboto valdiklį, pastarasis inicijuos roboto rankos mechaninį judėjimą. Taip pat šioje sistemoje naudojamas roboto apmokymo pultas, kuriuo tiesiogiai perduodamos komandos į roboto valdiklį. Vykstant automatizuotam procesui, roboto apmokymo pultas nėra naudojamas, tačiau jis suteikia galimybę valdyti robotą rankiniu būdu, atsiradus poreikiui.



2 pav. Automatizuotos roboto fikstūros (darbinių koordinačių) koregavimo sistemos struktūrinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Roboto fikstūros automatinio koregavimo sistemos proceso seka pavaizduota (3 pav.).

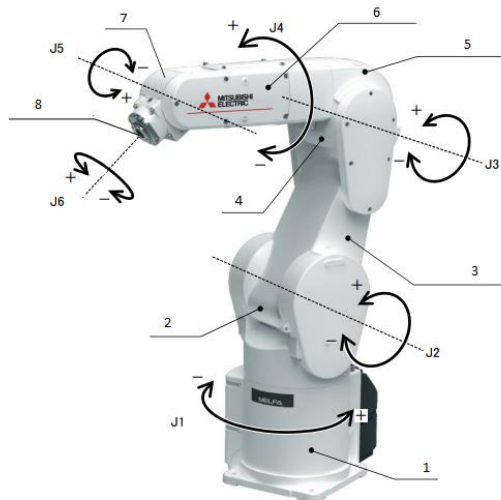


3 pav. Roboto darbinių koordinačių automatinio koregavimo sistemos kameros programos (kairėje) ir PLC programos (dešinėje) algoritmas
Šaltinis: sudaryta autorių

Algoritmas apima kameros ir PLC vykdomas programas. Procesas pradedamas operatoriui paspaudus testavimo stoties „START“ mygtuką. Tuomet iš programuojamo loginio valdiklio yra siunčiama komanda į kamerą ir pradedama vykdyti kameros programa. Pirmiausia, ši programa užfiksuoja vaizdą. Toliau, remiantis juo, kameros programa apdoroja duomenis (identifikuojami pažymėti atskaitos taškai). Identifikavus pastaruosius, vyksta koordinačių skaičiavimas. Duomenys apie jas yra siunčiami iš kameros į programuojamą loginį valdiklį. Toliau algoritmas tęsiamas vykdant PLC programą – gaunamos užfiksuotos koordinatės iš kameros. Valdiklyje numatytos atskaitos taškų koordinatės (idealiu fikstūros įdėjimo atveju) palyginamos su užfiksuotomis kamera (realių) koordinatėmis. Jei šios koordinatės sutampa – toliau vykdoma PLC numatyta programa, t.y. pradedamas automatinis detalių testavimas. Priešingu atveju - PLC numatytosios koordinatės yra pakeičiamos kameros apskaičiuotomis koordinatėmis ir, įvykdžius šį žingsnį, toliau yra vykdoma PLC numatyta programa. Procesas kartojamas kaskart, paspaudus stoties „START“ mygtuką.

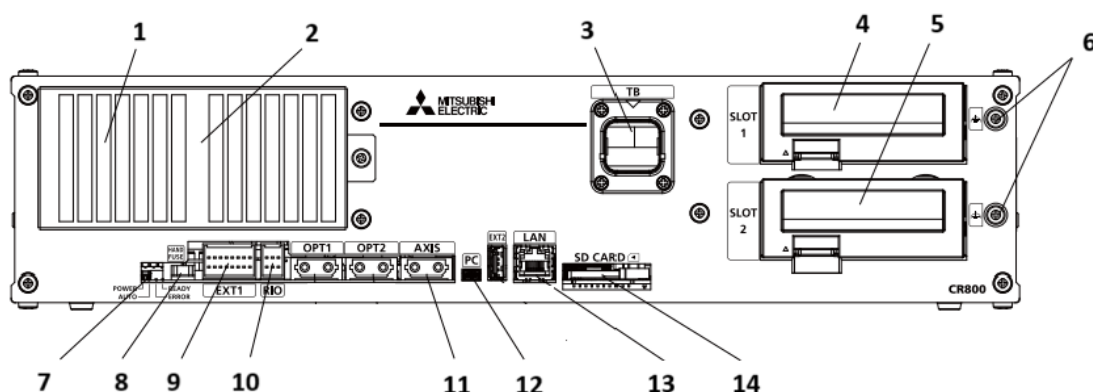
Elementinės bazės parinkimas

Roboto darbinių koordinačių automatizuotos koregavimo sistema yra įterpiama į jau veikiančią stotį *Seica*, tam ketinant panaudoti jau esamus elementus. Vienas iš jų yra roboto ranka. Sistemoje naudojama 6 ašių Mitsubishi RV-7FRLM roboto ranka (4 pav).



4 pav. Mitsubishi RV-7FRLM roboto ranka. 1 – pagrindas, 2 – petys, 3 – viršutinė dalis, 4 – alkūnė, 5 – alkūnės blokas, 6 – dilbis, 7 – riešas, 8 – mechaninė sąsaja griebtuvui, J1-J6 – roboto judėjimo ašys ir kryptys [10]

Mitsubishi RV-7FRLM roboto rankos valdymui reikalingas roboto valdiklis CR800 (5 pav.).



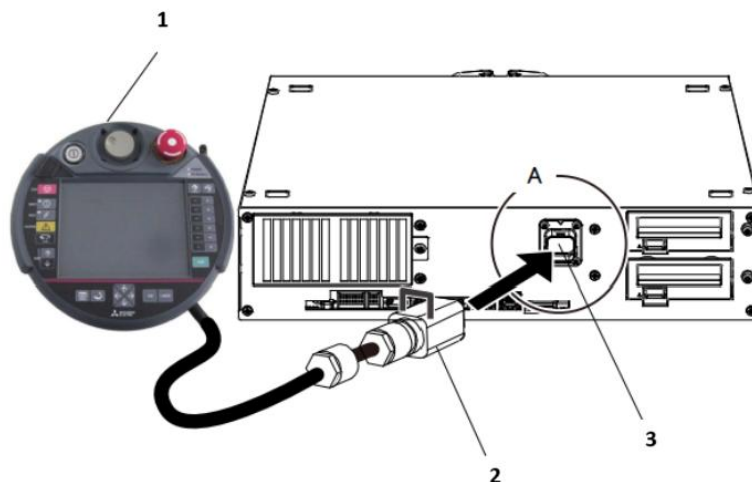
4 pav. CR800 valdiklio priekinė pusė. 1 – ventiliatoriaus oro išsiurbimas, 2 – dulkių filtro dangtelis, 3 – roboto mokymo pulto jungtis, 4 – papildomų kortelių lizdo 1 anga, 5 – papildomų kortelių lizdo 2 anga, 6 – papildomų kortelių įžeminimo kabelio gnybtai, 7 – LED indikatoriai, 8 – roboto rankos saugiklis, 9 – avarinio stabdžio jungtis, 10 – saugos išplėtimo įrenginio jungtis, 11 – jėgos jutiklio jungtis, 12 – kompiuterio jungtis, 13 – Ethernet jungtis, 14 – SD atminties kortelės lizdas (Pastaba: minėtas modelis jau pakeistas į naujesnės kartos Melfa FR serijos valdiklius) [9]

Pagrindinė roboto valdiklio funkcija – koordinuoti ir kontroliuoti roboto judesius ir veiksmus. Tai apima komandų interpretavimą, judėjimo trajektorijų vykdymą, jutiklių stebėjimą ir bendro roboto funkcionalumo bei saugumo užtikrinimą darbo metu. Nors roboto valdiklis atlieka pagrindines judesių valdymo ir koordinavimo funkcijas, tačiau, pageidaujant į sistemą papildomai integruoti įvairius jutiklius ar padidinti roboto programavimo galimybes, reikalingas programuojamas loginis valdiklis PLC (angl. *Programmable Logic Controller*). Kartu su roboto ranka *Mitsubishi RV-7FRLM* bei roboto valdikliu CR800 naudojamas programuojamas loginis valdiklis Siemens SIMATIC S7-1500. Šis programuojamas loginis valdiklis turi dvi *Ethernet* jungtis ryšio su robotu realizavimui, tačiau, norint sujungti sistemą, reikalingas didesnis skaičius *Ethernet* jungčių. Todėl prie PLC dar prijungiamas papildomų *Ethernet* jungčių modulis *Siemens Scalance XB216 Ethernet* jungtimi (RJ45) (5 pav.).



5 pav. PLC su papildomu moduliu. 1 - Siemens SIMATIC S7-1500 programuojamas loginis valdiklis, 2 – papildomas Ethernet jungčių modulis Siemens Scalance XB216 [17]

Automatinio testavimo sistemoje, kai yra reikalingas žmogaus įsiterpimas, pavyzdžiui, esant nesklandumams automatizuotame procese, yra naudojamas roboto apmokymo pultas R56TB (6 pav.).



6 pav. Roboto apmokymo pulto ir roboto valdiklio sujungimas. 1 – Roboto mokymo pultas R56TB, 2 – roboto pulto jungtis, 3 – roboto valdiklio lizdas, skirtas roboto pulto jungčiai [12]

Dar vienas sistemos elementas – vaizdo kamera *Cognex In-Sight 2802* (7 pav.).

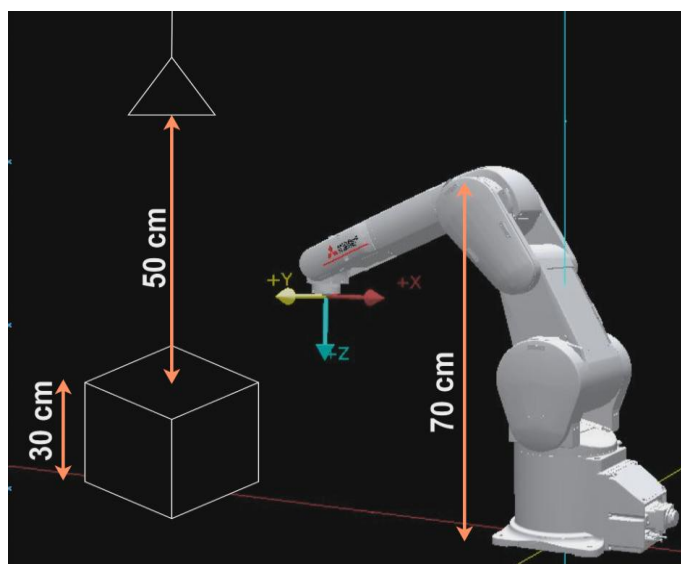


7 pav. *Cognex In-Sight 2802*: 1,2 – išsišakojimo kabelio ir, atitinkamai, Ethernet jungtis, 3 – LED apšvietimas [18]

Ši vaizdo kamera veikia kaip įterptinė sistema į jau veikiančią automatinės testavimo stoties sistemą. *Cognex In-Sight 2802* yra parinkta, atsižvelgiant į suderinamumą su jau veikiančia automatinio testavimo stotimi *Seica*.

Sistemos montavimo sprendimas

Siekiant, kad sistema funkcionuotų tinkamai, svarbu numatyti ir įgyvendinti tinkamus jos montavimo sprendimus. Vienas iš svarbiausių aspektų yra tinkamai parinkti ir pritaikyti kameros montavimo vietą. Kadangi automatinė testavimo stotis *Seica* jau yra veikianti, tad, siekiant neardyti jau esančios konstrukcijos, numatyta kameros montavimo vieta turi nesukelti trikdžių roboto rankos judėjimo trajektorijoje. Taip pat, kadangi visų keičiamų fikstūrų vieta yra toje pačioje darbinėje aplinkoje, tikslinga kamerą montuoti stacionarioje vietoje, esančioje virš keičiamų fikstūrų zonos (8 pav.).



8 pav. Kameros montavimo sprendimo vizualizavimas. 1 – kameros montavimo vieta, 2 – fikstūros įstatymo vieta

Šaltinis: sudaryta autorių

Pasirinkus šį montavimo sprendimą, svarbu įvertinti kameros atstumą fikstūros atžvilgiu, nes, siekiant neprarasti reikiamos raiškos atskaitos taškų atpažinimui, atstumas turi neviršyti 50 cm. Tačiau, pasirinkus per mažą atstumą tarp kameros ir fikstūros paviršiaus, iškyla rizika, kad kamera bus roboto darbinėje zonoje jo judėjimo metu. Maksimalus roboto rankos pasiekiamas aukštis yra 70 cm nuo roboto pagrindo. Fikstūros ir jos pagrindo aukštis yra 30 cm, todėl atstumas tarp kameros ir fikstūros negali būti mažesnis nei 40 cm. Tačiau, norint išvengti rizikos ateityje (pavyzdžiui esant poreikiui pakoreguoti roboto rankos judėjimo trajektoriją), pasirinktas montavimo atstumas yra 50 cm statmenai fikstūros plokštumai. Šis sprendimas užtikrina, kad kameros stebėjimo lauko dydis bei rezoliucija vis dar bus pakankami iškeltiems techniniams reikalavimams (kameros stebėjimo laukas – ne mažesnis nei 220 mm x 120 mm, rezoliucija – ne mažesnė nei 1,6 MP).

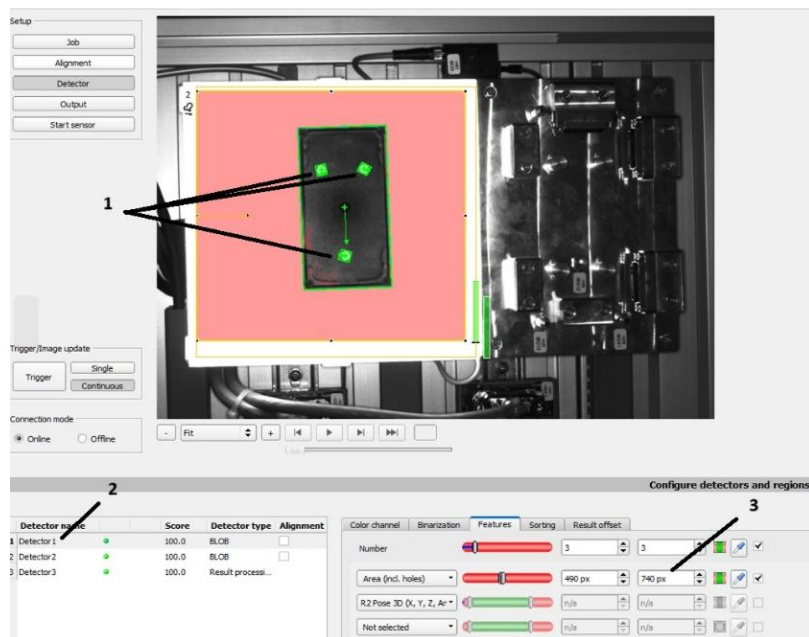
Sistemos veikimo testavimas

Sistemos veikimas buvo išbandytas naudojantis prototipine sistema, kurią sudaro: roboto ranka Mitsubishi RV-4FRL, roboto valdiklis Mitsubishi CR800, kamera SensopartV20-all-P3-W-M-M2-L. Testavimas pradedamas derinant kameros programos nustatymus, naudojantis *SensoFind* programa, kuria galima pasirinkti ar nustatyti reikiamus parametrus.

Testavimo metu apibrėžti parametrai: stebėjimo lauko dydis – 250 x 250 mm; rezoliucija – 1,6 MP (1440 x 1080 px); objekto atpažinimo būdas – taškas/dėmė (angl. blob); pasirinktų objektų kiekis – 3 atskaitos taškai; vertinimo kriterijai – 2 (pirmasis kriterijus – atpažinti 3 atskaitos taškai, antrasis kriterijus – detalės buvimas kameros stebėjimo lauke); perduodamas rezultatas – „true“/“false“ ir skaitinė reikšmė; vaizdo užfiksavimo greitis – 9,6 ms; paleidiklio režimas – „trigger“. Tai reiškia, kad kamera pradės vaizdo užfiksavimą tik gavusi signalą iš roboto valdiklio.

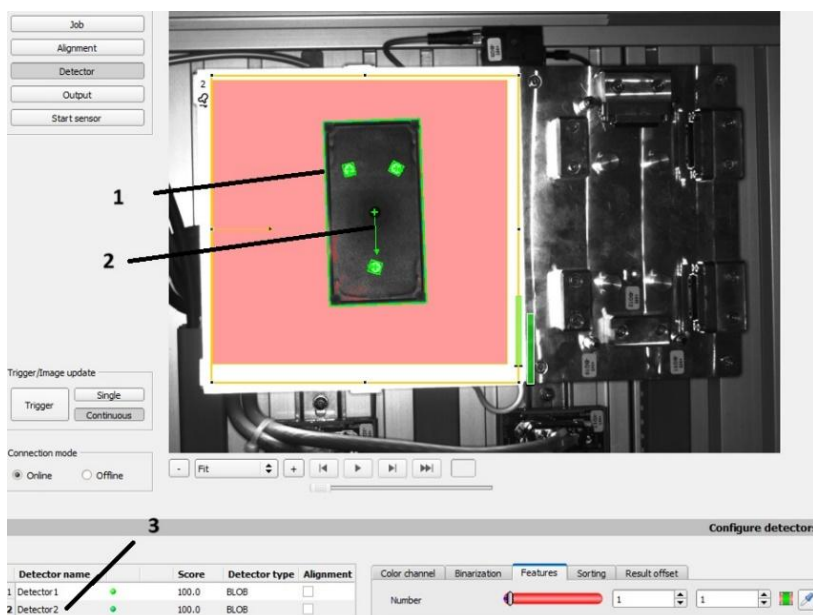
Iš pradžių atliekamas konfigūravimas pirmajam vertinimo kriterijui. Tam, kad kamera teisingai pasirinktų reikiamus taškus ir būtų išvengiama pašalinių trikdžių, atsirandančių dėl šviesos atspindžių, nustatomas reikiamas pikselių kiekis. Kuo jų yra mažiau, tuo daugiau pašalinių objektų yra aptinkama.

Nustačius pikselių skaičių 490 x 790, buvo pašalinti nereikalingi trikdžiai, ir kamera gebėjo atskirti tik reikiamus taškus (9 pav.).



9 pav. Pirmojo vertinimo kriterijaus konfigūracija. 1 – užfiksuoti taškai, 2 – pasirinktas vertinimo kriterijus, 3 – nustatytas pikselių skaičius
Šaltinis: sudaryta autorių

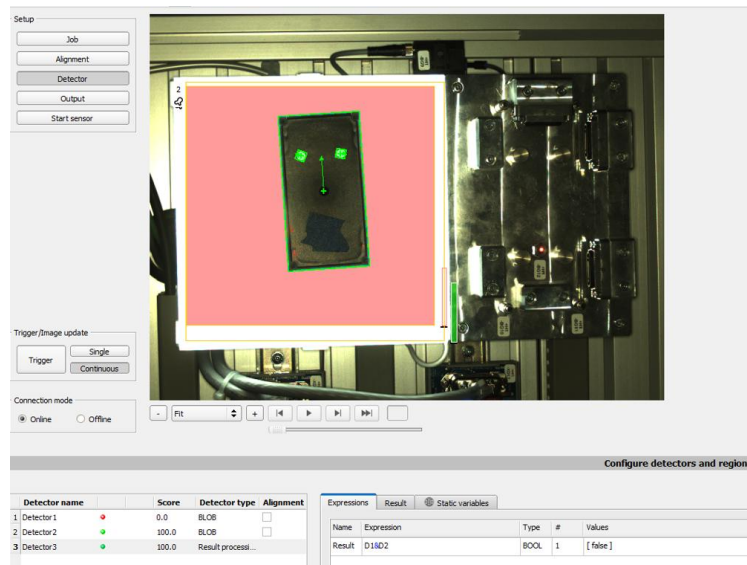
Antrasis vertinimo kriterijus yra skirtas nustatyti objektą ir jo padėtį (10 pav.).



10 pav. Antrojo vertinio kriterijaus konfigūracija. 1 – aptinkamas objektas, 2 – pasirinkama kryptis, 3 - pasirinkamas vertinimo kriterijus
Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis juo, yra vertinama ar šablonas su atskaitos taškais yra kameros stebėjimo lauke, kaip ir paties objekto erdvinė orientacija, t.y. vertinamas jo pasukimo kampas bei orientacija (kryptiškumas). Jei pirmojo ir antrojo vertinimo kriterijai yra įvertinami kaip teigiami – atpažinti 3 taškai ir užfiksuotas objekto buvimas, rezultatas yra apibrėžiamas kaip teisingas („true“). Jei bent vienas kriterijus neišpildomas, roboto valdikliui siunčiamas neigiamas rezultatas („false“), ir roboto valdiklio programinis kodas numato pakartotiną vaizdo užfiksavimo eigą. Kameros rezultatas siunčiamas roboto valdikliui. Siunčiami duomenys susideda iš „true“ arba „false“ rezultato ir koordinatijų. Duomenų signalo perdavime yra svarbi siunčiamų duomenų eiliškumo

tvarka. Siekiant, kad roboto valdiklio programa vertintų rezultatą, pirmiausia turi būti perduodama „true“ arba „false“ reikšmė. Po jų perduodamos reikšmės apibūdina X bei Y pozicijas bei kampą Z. Taip pat atliktas rezultatų vertinimas, esant tik dviem atskaitos taškams (11 pav.).

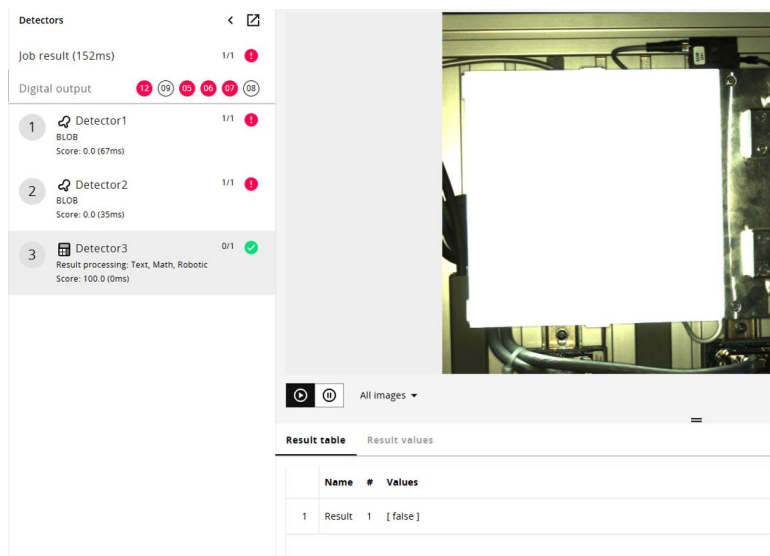


11 pav. Bandymas su dviem taškais

Šaltinis: sudaryta autorių

Kadangi, pirmojo vertinimo kriterijaus reikšmė yra neigiama, todėl rezultatas taip pat neigiamas („false“). Gavus šį rezultatą, roboto valdiklio programoje pakartojami vaizdo užfiksavimo žingsniai.

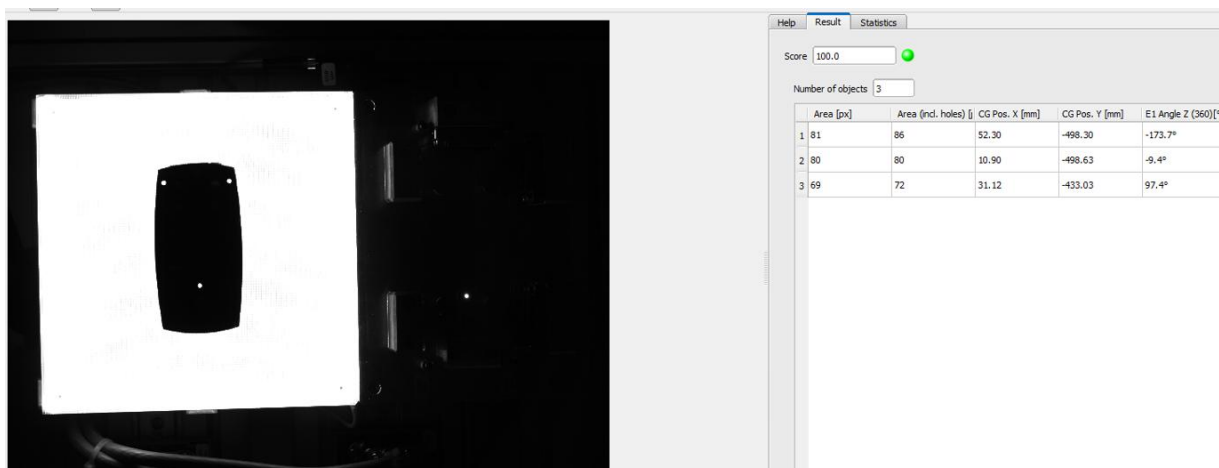
Kamerai neužfiksavus jokio objekto, pirmojo bei antrojo vertinimo kriterijai neigiami, matomas suformuotas rezultatas „false“ (12 pav.).



12 pav. Bandymo be objekto kameros stebėjimo lauke rezultatas

Šaltinis: sudaryta autorių

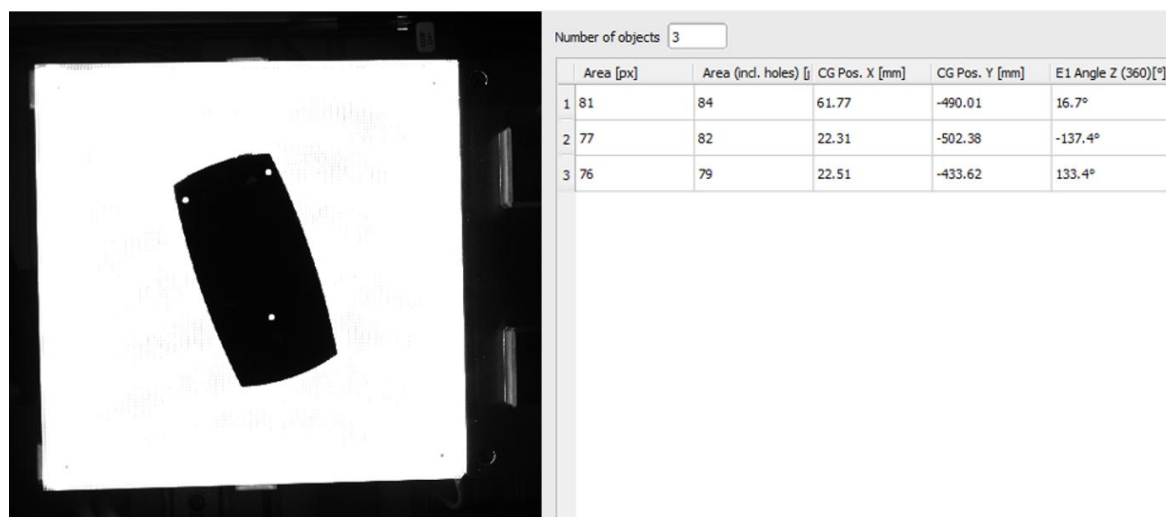
Įsitikinus, kad pagal nustatytus kameros parametrus, objektas aptinkamas ir vertinamas tinkamai, toliau siekiama įvertinti ar pagal užfiksuotų atskaitos taškų koordinatės, yra perskaičiuojamos roboto valdikliui siunčiamos koordinatės (13 pav.). Šablonas su atskaitos taškais padedamas į poziciją, kuri laikoma teisinga. Tuomet, kameros programoje naudojant trigerį, užfiksuojamos atskaitos taškų koordinatės, kurios įrašomos kaip pirmasis vertinimo kriterijus (angl. *detector1*). Kiekvieną kartą užfiksavus atskaitos taškų koordinatės, kameros programa palygina jas su vertinimo kriterijumi ir įvertinimas nuokrypis.



13 pav. Užfiksuotų atskaitos taškų koordinatinių reikšmės (šablonas su atskaitos taškais yra tinkamoje pozicijoje, atitikties įvertinimas 100%)

Šaltinis: sudaryta autorių

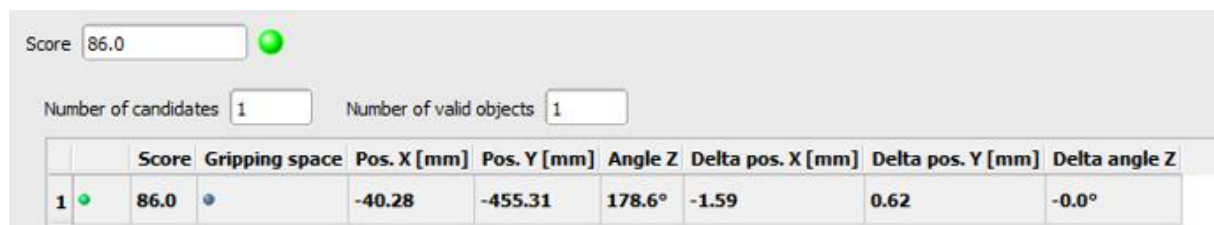
Šablonas su atskaitos taškais patraukiamas iš tinkamos padėties siekiant įvertinti, ar kamera užfiksuoja atsiradusius atskaitos taškų koordinatinių pasikeitimus (14 pav.).



14 pav. Pasikeitusių atskaitos taškų koordinatinių reikšmės

Šaltinis: sudaryta autorių

Atsiradus koordinatinių neatitikimams, yra įvertinamas nuokrypis ir suformuojamas rezultatas (15 pav.).



15 pav. Pasikeitusių atskaitos taškų koordinatinių rezultatas

Šaltinis: sudaryta autorių

Įvertinamas neatitikimo procentas bei naujai suformuotos koordinatės, kurios siunčiamos roboto valdikliui.

Sekantis bandymas – nustatomų koordinatinių paklaidos įvertinimas. Testavimo metu, fiziškai nekeičiant šablono padėties, buvo 10 kartų užfiksuotos atskaitos taškų koordinatės. Iš visų gautų koordinatinių rezultatų išrinkti du (bandymas A ir bandymas B), turintys didžiausią skirtumą tarp toje pačioje padėtyje esančio objekto atskaitos taškų koordinatinių (16 pav.).

	Bandymas A		Bandymas B		Skirtumas Pos. X (mm)	Skirtumas Pos. Y (mm)
	Pos. X (mm)	Pos. Y (mm)	Pos. X (mm)	Pos. Y (mm)		
1 atskaitos taškas	10	-492,08	9,96	-492,07	0,04	-0,01
2 atskaitos taškas	39,29	-491,86	39,33	-491,92	-0,04	0,06
3 atskaitos taškas	24,49	-430,7	24,59	-430,86	-0,1	0,16

16 pav. Koordinačių paklaidos įvertinimo rezultatai

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis atlikto paklaidos įvertinimo bandymo rezultatais, didžiausias aptiktas nuokrypis siekia 0,16 mm. Detalės paėmimo ar padėjimo atveju leistinas nuokrypis yra iki 0,5 mm, todėl 0,16 mm paklaida yra leistina ir užtikrina tikslų detalės paėmimą ar padėjimą.

Toliau aprašoma roboto valdiklio programa, kurios paprogramėje siunčiama komanda kamrai užfiksuoti vaizdą. Programoje esanti paprogramė nurodo atlikti šiuos veiksmus: atveriamas komunikacijos su kamera kanalas, pasirenkama kameros programa, nustatoma laikina automatinė ekspozicija, nustatomas nuolatinis automatinis fokusavimas, siunčiamos pirmo, antro ir trečio taško atskaitos koordinatės, kalibruojamas paleidiklis ir, galiausiai, užfiksuojamas vaizdas.

Kamrai užfiksavus vaizdą, paprogramė yra užbaigiama, ir sekanti iškviesta paprogramė numato kameros rezultato gavimą (17 pav.):

```

MSeparatorPos = Strpos(CPosValues$,";") 'get index of ";"
PoseX = Val(Left$(CPosValues$,MSeparatorPos))/1000 'get single value from payload
MStringLen = Len(CPosValues$) 'get lenght of the payload
CPosValues$ = Right$(CPosValues$,MStringLen-MSeparatorPos) 'Delete the processed payload
'

MSeparatorPos = Strpos(CPosValues$,";") 'get index of ";"
PoseY = Val(Left$(CPosValues$,MSeparatorPos))/1000 'get single value from payload
MStringLen = Len(CPosValues$) 'get lenght of the payload
CPosValues$ = Right$(CPosValues$,MStringLen-MSeparatorPos) 'Delete the processed payload
'

MSeparatorPos = Strpos(CPosValues$,";") 'get index of ";"
AngleZ = Val(Left$(CPosValues$,MSeparatorPos))/1000 'get single value from payload
MStringLen = Len(CPosValues$) 'get lenght of the payload
CPosValues$ = Right$(CPosValues$,MStringLen-MSeparatorPos) 'Delete the processed payload
'

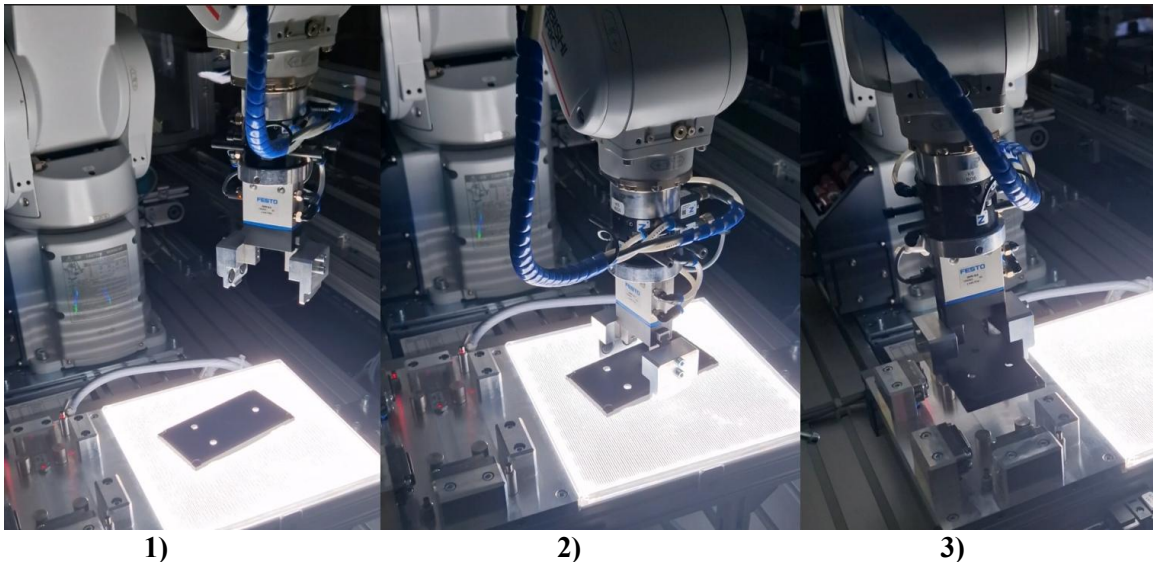
```

17 pav. Programinio kodo fragmentas, numatantis koordinatžių rezultato gavimą

Šaltinis: sudaryta autorių

Koordinatės sudarytos iš 3 verčių – X pozicija (PoseX), Y pozicija (PoseY), bei pasisukimo kampas (AngleZ). Pasikeitusių koordinatžių rezultatas siunčiamas roboto valdikliui, ir vykdant rezultatų įvertinimo paprogramę vyksta koordinatžių (PoseX, PoseY, AngleZ) pakeitimas naujomis koordinatėmis.

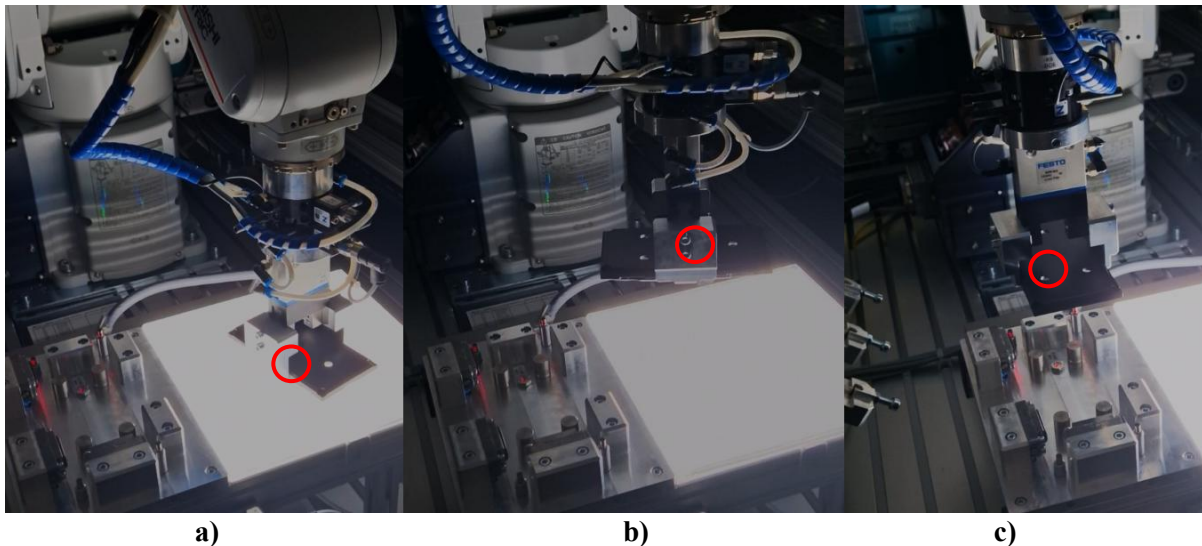
Robotino manipulatoriaus darbas tęsiamas remiantis jau naujomis koordinatėmis. Atlikus aprašytus derinimo bei bandymų žingsnius, atliekamas testavimas naudojant robotinį manipuliatorių. 19 ir 20 paveikslėliuose vaizduojama kaip jis prisitaiko prie pasikeitusios objekto padėties.



19 pav. Detalės paėmimas pagal perskaičiuotas koordinates. 1) darbo pradžia, 2) detalės paėmimas, 3) detalės padėjimas

Šaltinis: sudaryta autorių

Paveikslėlyje pavaizduotas (20 pav.) automatinis roboto darbinių koordinačių koregavimas įvertinus ne tik pasikeitusias koordinates, bet ir detalės kryptį, kuri yra priešinga nei numatyta.



20 pav. Detalės paėmimas pagal perskaičiuotas koordinates: a) detalės paėmimas, b) krypties pakeitimas, c) detalės padėjimas

Šaltinis: sudaryta autorių

Priartėjus prie detalės, roboto rankos griebtuvas pasisuka pagal detalės poziciją ir ją paima. Sekančiame žingsnyje, griebtuvas pakeičia padėtį ir nepaisant paėmimo padėties, padeda detalę į tinkamą poziciją.

Paėmus detalę, roboto griebtuvas pasukamas tiek, kad detalės padėtis ir kryptis taptų teisinga prieš padedant detalę į numatytą vietą (20 pav.).

Šie rezultatai rodo, kad roboto darbinių koordinačių koregavimas automatinio būdu yra vykdomas ir roboto ranka, remdamasi kameros rezultatais, geba autonomiškai prisitaikyti prie pasikeitusios objekto padėties.

Kadangi sistemos testavimas ir derinimas vyko naudojant panašią (tačiau ne identišką suprojektuotai) sistemą, yra keletas skirtumų:

- Kameros stebėjimo lauko dydis. Projektuojamos sistemos kameros stebėjimo laukas 220 x 120 mm, o testavimui naudotos sistemos – 250 x 250 mm.

- Atskaitos taškų žymėjimo laukas. Projektuojamos sistemos atskaitos taškų išdėstymas numatytas 220 x 120 mm dydžio lauke, testavimo metu naudotas šablonas atskaitos taškų žymėjimui – 150 x 80 mm.

- Projektuojamoje sistemoje numatytas PLC naudojimas kameros duomenų apdorojimui, testavimo metu kameros duomenų įvertinimas vyko naudojant roboto valdiklį.

Tačiau, nepaisant šių skirtumų, atsiradusių dėl skirtingų sistemų specifikacijų, roboto darbinių koordinačių koregavimo automatinio būdu sistemos veikimo principas buvo patikrintas.

Derinimo ir testavimo metu gauti rezultatai:

- Apibrėžtas pirmo vertinimo kriterijaus pikselių skaičius 490 x 790 atskaitos taškų užfiksavimui.
- Antras vertinimo kriterijus aptinka, ar objektas yra, bei nustato jo kryptį.
- Nustatytas rezultato formavimas, kuris susidaro iš „true/false“ reikšmių ir koordinačių reikšmės.
- Patikrinta, kad kameros suformuotas rezultatas yra neigiamas („false“), jei objektas matymo lauke neaptinkamas arba užfiksuojama mažiau nei 3 atskaitos taškai.
- Patikrinta, kad pasikeitus objekto padėčiai, kameros programoje yra perskaičiuojamos koordinatės.
- Bandymų būdu įvertinta kameros nustatytų koordinačių paklaida, kuri siekia 0,16 mm.

Aptarimas. Atlikus roboto „rankos“ testavimą, įsitikinta, kad robotas prisitaiko prie pasikeitusios objekto padėties, pagal kameros perduotas koordinates ir paima bei padeda detalę į teisingą padėtį ir teisinga kryptimi. Siekiant sumažinti ne tik testuojamų detalių neteisingos lokacijos atvejus, bet ir paimamų detalių kiekį, automatinio testavimo stotyje *Seica* tikslinga integruoti papildomą kamerą, kuri vertintų ir paimamų iš dėklo detalių pozicijas.

Išvados

1. Sistemos maitinimui reikalinga 230 V kintama įtampa bei 24 V nuolatinė įtampa. 230 V įtampa skirta roboto valdiklio maitinimui, o 24 V nuolatinė įtampa skirta programuojamo loginio valdiklio bei vaizdo jutiklio maitinimui. Bendrai, sistema susideda iš roboto rankos, roboto mokymo pulto bei roboto valdiklio, PLC, roboto fikstūros, taip pat vaizdo kameros. Automatinis optinis atpažinimas realizuotas kaip įterptinė sistema jau veikiančioje roboto ir PLC sistemoje.

2. Sukurtas sistemos algoritmas apima PLC ir kameros programas; pagrindinę jų vykdo PLC, ir vaizdo kameros programa pradedama vykdyti vaizdo užfiksavimu (atpažįstami trys atskaitos taškai ir jų pozicijos, pagal kuriuos apskaičiuojamos realios fikstūros koordinatės, kurios perduodamos į PLC). PLC toliau perima programos vykdymą (apskaičiuoja realias pažymėtų taškų koordinates ir, esant poreikiui, pakoreguoja jas). Persiuntus valdymo signalą į roboto valdiklį, pastarasis inicijuoja roboto rankos mechaninį judėjimą. Vykstant automatizuotam procesui, roboto apmokymo pultas nėra naudojamas, tačiau pagal poreikį numatoma valdyti robotą ir rankiniu būdu.

3. AOI sistemos realizavimui stotyje *Seica* pasirinkta naudoti integruotos vaizdo kameros *Cognex In Sight 2802* sprendimą dėl jos suteikiamos galimybės perduoti skaitmeninius duomenis bei 1,6 MP rezoliucijos 220 x 120 mm kameros stebėjimo lauke. Taip pat, įvertinus papildomų jutiklių poreikį, taip pat siekiant padidinti roboto programavimo galimybes, kartu su roboto ranka *Mitsubishi RV-7FRLM* bei roboto valdikliu *CR800* pasirinkta diegti programuojamą loginį valdiklį *Siemens SIMATIC S7-1500*. Galimam sistemos išplėtimui prie PLC dar prijungiamas papildomų *Ethernet* jungčių modulis *Siemens Scalance XB216* per *Ethernet* jungtį (RJ45).

4. Vaizdo kameros montavimo atstumas pasirinktas 50 cm (statmenai fikstūros plokštumai). Šis konstrukcinis sprendimas užtikrina, kad kameros stebėjimo lauko dydis bei rezoliucija vis dar bus pakankami iškeltiems techniniams reikalavimams (kameros stebėjimo laukas – ne mažesnis nei 220 mm x 120 mm, rezoliucija – ne mažesnė nei 1,6 MP).

5. Sistemos testavimas pagal du vertinimo kriterijus (3 atskaitos taškų atpažinimas bei objekto nustatymas kamera) atskleidė, kad robotas prisitaiko prie pasikeitusios objekto padėties ir/ar krypties bei padeda detalę į teisingą poziciją ir tinkama kryptimi nepriklausomai nuo detalės paėmimo pozicijos (didžiausias nuokrypis siekė 0,16 mm), o tai tenkina detalės paėmimo ar padėjimo leistiną nuokrypį (iki 0,5 mm).

Literatūra

1. Antonovaitė E., Tervydis P., Jankūnienė R. Vaizdų apdorojimo automatinės optinės patikros sistemai metodų tyrimas / Inžinerinės ir edukacinės technologijos. 2023, p. 259-268.
2. Anzai Y. Pattern recognition and machine learning. Elsevier; 2012.
3. Bedaka A.K., Lee Sh.-Ch., Mahmoud A. M., Cheng Y.-Sh., Lin Ch.-Y. A Camera-Based Position Correction System for Autonomous Production Line Inspection / Sensors (Basel). 2021; 21 (12): 4071.

4. DMV1000 System [žiūrėta 2024-01-10]. Prieiga internete: <https://industrialautomation.delta-emea.com/en/dmv1000-system-1589.htm>
5. Gasparetto, Alessandro, Lorenzo Scalera. A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. *Advances in Historical Studies* 8 (2019): 24-35 p.
6. Integrated Vision [žiūrėta 2024-01-10]. Prieiga internete: <https://library.e.abb.com/public/>
7. Iqbal H. S. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions / *SN Computer Science*, vol. 2, Nr. 160, 2021.
8. Lenkutis T. Positioning and Control of Scanning Electrochemical Microscopy. *Mechanika, medžiagų inžinerija, pramonės inžinerija ir vadyba*, VGTU leidykla „Technika“, 2019.
9. Mitsubishi Electric Industrial Robot CR800 Series Controller. Instruction Manual [žiūrėta 2024-09-25]. Prieiga internete: <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/robot/1-09091eng/109091n.pdf>
10. MYPro 150 - 3D AOI. Automatic Optical Inspection [žiūrėta 2024-01-10]. Prieiga internete: <https://www.mycronic.com/product-areas/pcb-assembly/products/smt/aoi/mypro-i50/>
11. Optical Inspection (AOI) [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga internete: <https://www.seica.com/solutions/inspection-aoi/>
12. R56TB. Factory Automation [žiūrėta 2024-03-25]. Prieiga internete: <https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/option/teaching-box/r56tb.html>
13. Ren Z., Fang. F., Yan N., Wu, Y. State of the Art in Defect Detection Based on Machine Vision. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. Springer, 2022, vol. 9, p. 661-691.
14. RV-7FRLM. Vertical Type Robot [žiūrėta 2024-03-25]. Prieiga internete: <https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/vertical/rvfr-series>
15. RV-7FRLM-D. Factory Automation [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga internete: <https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/vertical/rvfr-series/rv-7frlm.d.html#downloads>
16. Sensor, Standard distance, Monochrome, Automatic Focus Model [žiūrėta 2024-01-10]. Prieiga internete: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/iv-500ma/>
17. Simatic S7-1500 CPUs [2024-03-25]. Prieiga internete: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
18. Vision Sensors Product Guide [žiūrėta 2024-01-10]. Prieiga internete: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision-sensors>

AUTOMATIC ADJUSTMENT OF ROBOT FIXTURE WORKING COORDINATES

Summary

Typically, an excessive error in the robot's fixture working coordinates results in additional time and cost incurred due to manual correction of damaged parts and coordinates. This paper delves into the implementation aspects of an embedded automated AOI system with camera integration in order to determine in real time and adjust the robot's work coordinates as needed. The authors proposed engineering solutions that allow this to be realized by implementing a visual assessment of the fixture coordinates and automatically adjusting the coordinates of the robot arm based on the current position of the fixture. For this, it was chosen to integrate an embedded image recognition system into the *Seica* station, due to it the robot can dynamically adapt to changes in its working environment. After the analysis of the methods of system implementation, the structural diagram of the designed system was drawn up, the algorithm of the program was proposed, its tuning and AOI module functionality testing were carried out, which revealed that the robot adapts to the changed position and/or direction of the object, places the part in the correct position and in the correct direction independently from the pick-up position, It was found that the maximum detected deviation reaches 0.16 mm, when the permissible deviation in the case of picking up or placing the part reaches up to 0.5 mm.

ADAPTYVI AVALYNĖS ŠILDYMO SISTEMA

Rūta Jankūnienė¹, Darius Kybartas^{1,2}, Rokas Tamulynas³

¹Lietuvos inžinerijos kolegija, ²Kauno technologijos universitetas, ³UAB „Jungtis“

Anotacija

Šaltuoju metų laikotarpiu aktualu palaikyti komfortišką pėdų temperatūrą, nes jų atšalimas suniausiaisiais atvejais gali sukelti nekrozę. Per aukštą temperatūrą skatina prakaitavimą ir diskomforto pojūtį. Šią problemą siūloma spręsti naudojant adaptyvią avalynės vidaus šildymo sistemą. Konceptijos patikrinimui sukurta sistema, autonomiškai maitinama 3,6 V įtampos 4 Ah Li-ion akumuliatoriumi, kurio srovė mikrokontrolerio valdomu raktu paduodama į 2-3 W galios varžinį varinį kaitinimo elementą, pagamintą naudojant poliamido/kaptono technologiją ir integruotą į vidpadį. Vidaus ir išorės temperatūroms matuoti panaudoti du jutikliai, kurių rodmenis mikrokontroleris naudoja šildymo galiai reguliuoti. Sistemoje realizuotas automatinis šildymo intensyvumo reguliavimas, temperatūrų pokyčių sekimas, mažo energijos vartojimo režimas, ir ne mažesnis kaip 8 val. nepertraukiamo veikimo trukmė. Sistema tvirtinama ant bato auliuko ir yra atskira kiekvienam batui. Atliekant tyrimus nustatyta, jog bato vidpadžio temperatūrai atvėsus iki 24°C, avintysis greitai pajaučia diskomforto pojūtį, o kritus žemiau nei 20°C, atsiranda nepriimtinas šalčio pojūtis. Temperatūrai viršijus 40°C, atsiranda diskomforto pojūtis dėl karščio. Nustatyta optimali bato vidaus temperatūra turi būti palaikoma 26 – 28°C diapazone.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Pėdų temperatūra, šildoma avalynė, dėvima šildymo sistema.

Išvadas

Esant atšiaurioms sąlygoms, kūnas stengiasi išlaikyti pastovią savo temperatūrą. Šiame procese pirmiausiai yra stabdoma kraujo cirkuliacija daug kapiliarų turinčiose galūnėse - atvėsta delnai, kojų pėdos, ausys ir nosies galas. Pastebimai žemesnė pėdų temperatūra yra žalinga organizmui, nes organizmas, stengdamasis išlaikyti vidinę temperatūrą, labai sumažina kraujo tėkmę pėdoms, dėl ko pėdų ląstelės negauna pakankamo kiekio deguonies, jos gali pradėti tirpti arba šalti (Cheung S, 2015). Dėl to atsiranda nemalonūs šalančių kojų jausmas, stingimas bei nušalimai. Esant itin žemoms temperatūroms, tai gali sukelti audinių nekrozę. Medicinos praktikoje yra žinoma, kad vienas iš sunkiausių šalčio nulemtų padarinių yra nušalusios galūnės, kurias neretai atveju tenka pašalinti chirurginiu būdu (Carceller A., 2019).

Pacientų skundai dėl pernelyg šaltų ar karštų pėdų medicinos praktikoje yra dažni. Tokius simptomus gali sukelti neišgydytos kraujagyslių ar nervų sistemos ligos bei besikeičianti temperatūra. Tiriant sveikų suaugusių žmonių pėdų temperatūrą visus metus nustatyta (Rachel A., 2010), jog žiemos metu pėdų temperatūra krenta žemiausiai iki 15,98 °C, o vasaros metu pakyla iki 37,58 °C. Vidutinė pėdų temperatūra tik pabudus yra 30,68 °C ± 2,68 °C, o miego metu – 34,08 °C ± 1,88 °C. Taip pat nustatyta, kad lytis ir aktyvus judėjimas neturėjo juntamos įtakos pėdų temperatūros kitimui, tačiau didelę įtaką tam turėjo aplinkos temperatūra.

Su šalančių galūnių problema kovojama įvairiai: pacientams rekomenduojamos specialios kojinės, kuriama avalynė, kuri garina drėgmę, kartu sulaikydama kūno skleidžiamą šilumą. Deja, tai neišsprendžia šalančių kojų problemos, o tik padeda ją atitolinti.

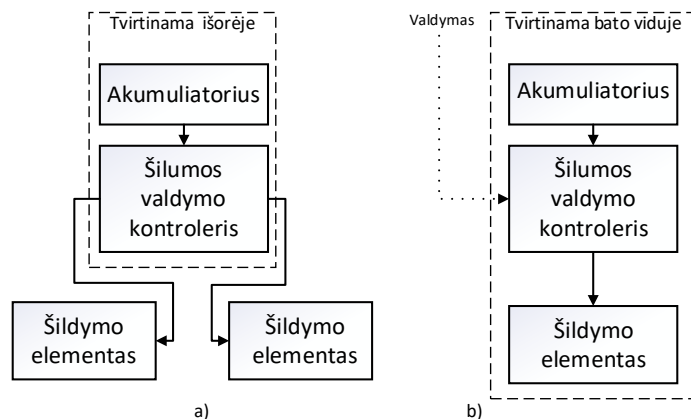
Pirmieji šildomos avalynės tema susidomėjo kariškiai (Hickey Ch., 1993), vėliau ši tema tapo aktuali ir civiliniuose taikymuose (Isik H., 2005). Šiuo metu vis dar vyksta aktyvūs šildomos avalynės komponentų tyrimai (Guangju L., 2022), o šio tipo gaminių komercinė pasaulinė rinkos vertė 2023 m. duomenimis buvo 3,9 mlrd. JAV dolerių su 7% kasmetiniu augimu (Mali S, 2025).

Sistemos koncepcijos analizė

Pirmosios, dažnai eksperimentinės, batų šildymo sistemos buvo daromos kaip vienas įrenginys su bendru maitinimo ir valdymo įrenginiu ir laidais prijungiamais šildymo elementais (1 pav.-a). Šio tipo sistemų pagrindinis blokas dažniausiai tvirtinamas prie diržo, todėl jame gali būti naudojamas didesnės talpos akumuliatorius, o valdymo elementai pasiekiami ranka (Hickey Ch., 1993). Tokios sistemos trūkumai yra ilgi ir sunkiai pritvirtinami jungiamieji šildymo elementų laidai. Norint matuoti temperatūrą bato viduje, yra reikalingi papildomi temperatūros jutiklių laidai. Taip pat, esant mažai šildymo elemento varžai, judamuosiuose laiduose prarandama dalis galios.

Kompaktiškesnė yra prie kiekvieno bato tvirtinama sistema (1 pav.-b). Joje šildymo elementas, maitinimo ir valdymo elektroniniai įrenginiai konstruktyviai gali būti sumontuoti viename gaminyje, tokiaime kaip šildomas vidpadis. Šios sistemos pavyzdys yra *Sunen Glovii*, kurioje valdiklis su kaitinimo elementu bei baterija yra tiesiogiai įmontuoti į vidpadį, o temperatūrai reguliuoti naudojamas distancinio valdymo pultas (Glovii, 2024).

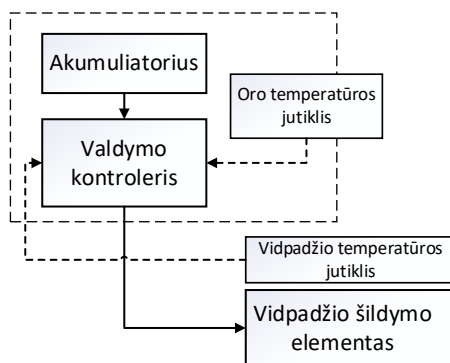
Visų komponentų montavimas į vidpadį turi ir trūkumų, tokių kaip mechaninis neatsparumas, rizika pažeisti akumuliatorių, todėl didžioji dalis panašių sistemų susideda iš atskiro kaitinimo elemento ir bato išorėje arba auliuke, tvirtame korpuse montuojamo maitinimo šaltinio ir valdymo įrenginio (Alpenheat Comfort, 2024).



1 pav. Bendros abiejų batų (a) ir atskiro bato (b) šildymo sistemų struktūros
Šaltinis: sudaryta autorių

Reikia pažymėti, kad subjektyviai pasirenkama temperatūra gali ir pakenkti sistemų vartotojui. Pavyzdžiui, esant šaltų kojų pojūčiui, jis gali įjungti maksimalų šildymo režimą ir dėl šalčio jautrumą praradusių kojų temperatūros receptoriai sureaguos tik tada, kai oda gali jau būti karščio pažeista. Todėl kyla poreikis sukurti tokią avalynės šildymo sistemą, kuri leistų tiek ergonominiu, tiek ir jutiminiu požiūriais užtikrinti komfortišką pėdų temperatūrą, ją adaptyviai reguliuojant pagal objektyvius temperatūrinius parametrus.

Šiam tikslui buvo sukurta bato vidpadžio šildymo sistema su grįžtamoju ryšiu pagal vidaus temperatūrą (2 pav.). Joje numatytas reguliavimas ne tik pagal vidaus, bet ir pagal išorės temperatūras, kad būtų galima iš anksto prognozuoti temperatūros kritimą išėjus į šaltį arba išjungti šildymą įėjus į šiltą patalpą, nelaukiant vidinės temperatūros pokyčio ir taip taupant akumuliatoriaus energiją.

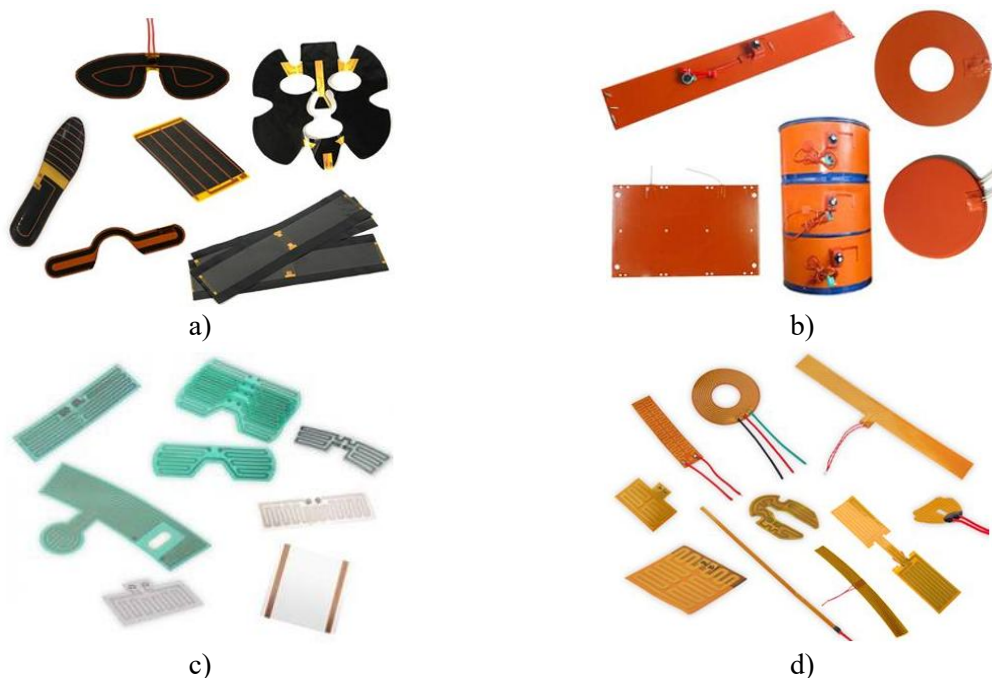


2 pav. Siūloma adaptyvios bato šildymo sistemos struktūra
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaitinimo elementų technologijų analizė

Kaitinimo elementų įvairovė varijuoja nuo vielinių varžinių elementų iki laidžios tekstilės. Vienas iš šildymo produktų, skirtų tame tarpe ir medicinos bei sveikatos priežiūros pramonei, gamintojų yra Bheater, gaminantis lanksčius šildytuvus [Bheater, 2023]. Pagrindiniai jų siūlomų kaitinimo elementų tipai yra poliamidu izoliuoti šildytuvai (*Kapton Heater*), poliesteriu izoliuoti šildytuvai, silikoninės gumos šildytuvai ir anglies plėvelės. (3 pav.).

Anglies pluošto šildymo elementas (3 pav.-a) naudoja elektros srovei laidų anglies pluoštą (Bheater, 2023). Dažnai anglies pluoštas būna įtaustas į karščiui atsparią tekstilę. Ši technologija užtikrina tikslią ir pastovią šilumą, o pats kaitinimo elementas yra lengvas ir lankstus. Be to, jie yra patikimi ir patvarūs, atlaiko mechanines deformacijas, neprarasdami savo elektrinių savybių. Anglies pluošto kaitinimo elementai veikia esant žemai įtampai (gaminami 3, 12 arba 24 V). Kaitinimo elemento storis svyruoja nuo 0.15 iki 0.3 mm.



3 pav. Kaitinimo elementų tipai: a) anglies pluošto, b) silikoniniai, c) poliesterio, d) poliamido/kaptono (Bheather, 2023)

Silikoninė šildymo plokštė (3 pav.-b) yra pagaminta iš silikoninės gumos, kurioje yra įlieta aukštai temperatūrai atsparaus laido apvija. Silikoninė guma yra pritaikyta dirbti aukštoje temperatūroje, taip pat yra atspari cheminėms medžiagoms. Kaitinimo elementas gumoje yra išvedžiotas taip, jog būtų užtikrintas maksimalus šilumos perdavimas ir išlaikomas temperatūros vienodumas. Silikoninės gumos lakštai taip pat turi stiklo pluošto sluoksnį, užtikrinantį papildomą atsparumą. Darbo įtampos ribos gali būti nuo 3.7 V iki 400 V, priklausomai nuo kaitinamo elemento dydžio ir reikiamos temperatūros. Bendras silikoninio kaitinimo elemento storis paprastai apie 1,5 mm.

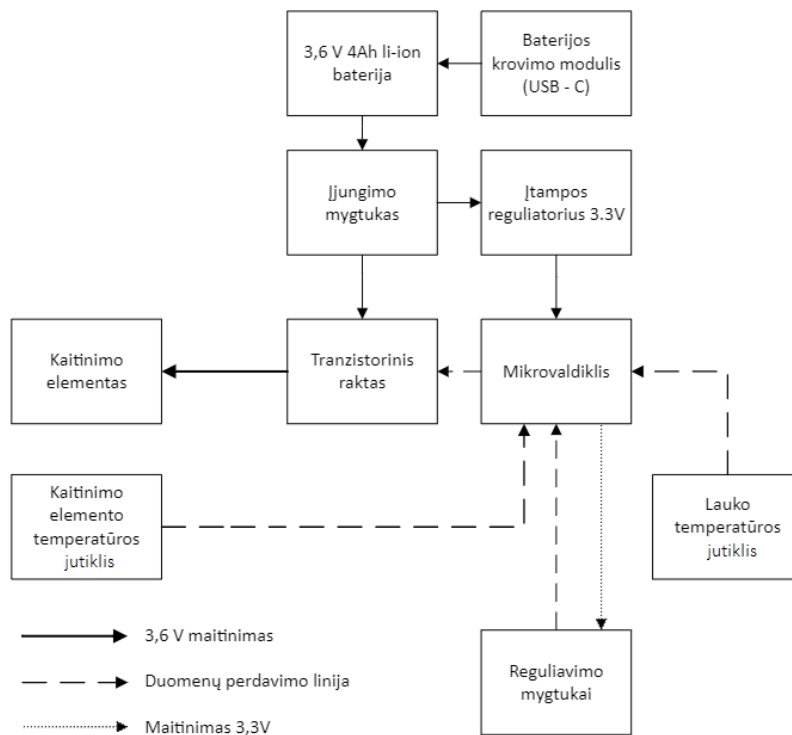
Poliesterio šildytuvo kaitinimo elementas yra plona folija, kurios izoliacinis sluoksnis yra poliesterio plėvelė. Šis elementas (3 pav.-c) tai pat yra lankstus, gali būti vyniojamas aplink šildomą objektą. Jis yra skirtas temperatūrai iki 100 °C, o jo įtampos gali būti 3.7-400 V ribose. Poliesterio šildymo elementas yra itin plonas (0.15-0.3 mm), o tai yra aktualu taupant vietą (Bheather, 2023).

Poliamido/kaptono šildytuve kaitinamasis elementas (3 pav.-d) yra padengiamas plona, lengva polimerine plėvele, užtikrinančia atsparumą tempimui ir plyšimui. Ši medžiaga yra plačiai naudojama lanksčių spausdintinio montažo plokščių ir jų kontaktinių šleifų gamyboje. Kaitinimo elementas yra vario folijos plokštelė, kaip ir poliesterio šildytuve, tačiau šis kaitinimo elementas gali palaikyti temperatūrą iki 200 °C. Šildytuvo storis svyruoja nuo 0,15 iki 0,3 mm storio.

Palyginus apžvelgtas populiariausias technologijas, šiame tyrime šildymo elementui buvo pasirinkta poliamido/kaptono technologija dėl reikamo temperatūros diapazono palaikymo, patikimumo, prijungimo kontaktų bei plataus prieinamumo.

Adaptyvaus avalynės šildymo sistema

Sukurtos sistemos struktūra pateikti 4 paveikslėlyje. Pagrindinės jos dalys yra maitinimo šaltinis su integruota krovimo per USB-C jungtį grandine. Ji įkrauna 3,6 V, 4000 mAh Li-Ion bateriją. Šildymo reguliatorių sudaro STM32F103C8T6 mikrovaldiklis, MOSFET tranzistorinis raktas, dvi termoporos bei temperatūros pasirinkimo ir reguliavimo elementai, reikalingi eksperimentinėje šio tyrimo dalyje kaitinimo elemento temperatūrai nustatyti. Pasiekus reikiamą temperatūrą, tolesnį jos stabilumo užtikrinimą atlieka mikrokontroleris.



4 pav. Sistemos struktūrinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaitinimo elementas (5 pav.-a), kurio diametras 60 mm, montuojamas į vidpadį ties kojos pirštais ir priekine pėdos dalimi, nes šios vietos yra labiausiai veikiamos šalčio. Išmatuota kaitinimo elemento varža siekė 0,4 Ω . Kaitinimo elemento srovė:

$$I_k = U_{bat} / R_k, \quad (1)$$

o kaitinimo galia

$$P_{kait} = U_{bat} * I_k. \quad (2)$$

Pagal (1)-(2) formules nustatyta kaitinimo galia lygi 32,4 W. Tokios galia per didelė, o ir pamatuota temperatūra yra ženkliai per didelė, todėl du kaitinimo elementai buvo sujungiami nuosekliai. Šiuo atveju kaitinimo elemento srovė gauta 4,5 A, o šildymo galia 16,2 W.

Atlikus pradinį skaičiavimą ir eksperimentus bei įvertinus gaunamas temperatūras, du nuosekliai sujungtus kaitinimo elementai buvo įklijuoti į guminį porėtos gumos vidpadį (5 pav.-b), jį perpjovus lygiagrečiai paviršiui ir vėl suklįjavus atgal. Kartu su kaitinimo elementais įklijuotas termoporos tipo temperatūrinis jutiklis ir visi laidai išvesti atskira kištukine jungtimi. Šia jungtimi vidpatis sujungiamas su valdymo ir maitinimo dalimi, sumontuota prie bato tvirtinamoje dėžutėje (6 pav.).

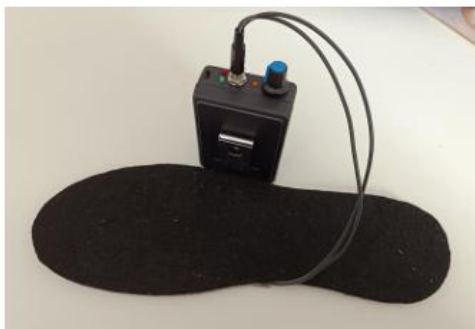


a)



b)

5 pav. Kaitinimo elemento struktūra (a) ir dviejų elementų išdėstymas vidpadyje (b)
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Vidpadžio šildymo sistemos vaizdas
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaitinimo galios reguliavimas bei baterijos darbo laiko įvertinimas

Net ir panaudojus du nuosekliai sujungtu kaitinimo elementus, jų galia nuolatiniam režime vis tiek yra per didelė, todėl nuspręsta ją reguliuoti impulsiniu būdu. Tam reguliatoriuje panaudota impulso pločio moduliacija PWM (angl. *Pulse-Width Modulation*), vidutinę galią reguliuojanti keičiant impulso skvarbą (angl. *Duty Cycle*):

$$U_{vid} = U_{bat} * D \quad (3)$$

$$P_{vid} = U_{vid}^2 / R_k \quad (4)$$

$$P_{vid} = (U_{bat} * D)^2 / R_k$$

čia D – impulso skvarba, U_{vid} – vidutinė įtampa, P_{vid} – vidutinė galia, R_k – kaitinimo elemento varža.
Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Kaitinimo elemento vidutinė galia ir impulsų skvarba

Impulsų skvarba D , %	P_{vid} , W
17,6	0,5
24,8	1
30,4	1,5
35,1	2
39,3	2,5
43,0	3
46,5	3,5

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš gautų rezultatų matosi, kad rekomenduojama 2-3 W šildymo galia gaunama esant 35-45% impulsų skvarbai.

Nustatant reikiamą baterijos talpą buvo laikoma, kad U_{bat} yra nekintanti 3,6 V. Pirmiausia, įvertinta kiek baterija turi galios (Wh) iki 20 % jos iškrovimo (2 lentelė).

2 lentelė

Akumuliatoriaus galia iki 20 % jo iškrovimo (Wh)

Akumuliatoriaus talpa, Ah	Galia, Wh (iki 20 % iškrovimo)
1	2,88
2	5,76
3	8,64
4	11,52
5	14,4
6	17,28

Šaltinis: sudaryta autorių

Šildymo elementą matinančių įvairios talpos baterijų veikimo trukmė įvertinta pagal naudojamą galią (3 lentelė).

3 lentelė

Akumuliatoriaus veikimo trukmė (valandomis)

Baterijos galia, Wh Kait.galia, W	2,88	5,76	8,64	11,52	14,4
0,5	5,76	11,52	17,28	23,04	28,8
1	2,88	5,76	8,64	11,52	14,4
1,5	1,92	3,84	5,76	7,68	9,6

Baterijos galia, Wh Kait.galia, W	2,88	5,76	8,64	11,52	14,4
2	1,44	2,88	4,32	5,76	7,2
2,5	1,152	2,304	3,456	4,608	5,76
3	0,96	1,92	2,88	3,84	4,8
3,5	0,82	1,65	2,47	3,29	4,11

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus šią analizę matosi, kad jei įrenginys veiktų nuolatinio kaitinimo režime, tokiu atveju 12 valandų nepertraukiamas jo veikimas būtų užtikrinamas tik kai kaitinimo galias būtų 0,5-1 W, o baterijos galia siektų 8,64 Wh ir daugiau (3 lentelė). Tačiau, kadangi siekiama palaikyti pastovią temperatūrą ir realiai įrenginys neveiks nuolatinio kaitinimo režimu, todėl daroma prielaida, jog baterijos laikas turėtų išaugti tik iki dviejų kartų. Įvertinus tai ir atlikus skaičiavimus, nustatyta kad optimali kaitinimo galia yra 2 W, o optimali baterijos talpa – 5 Ah.

Šildymo sistemos darbo režimai

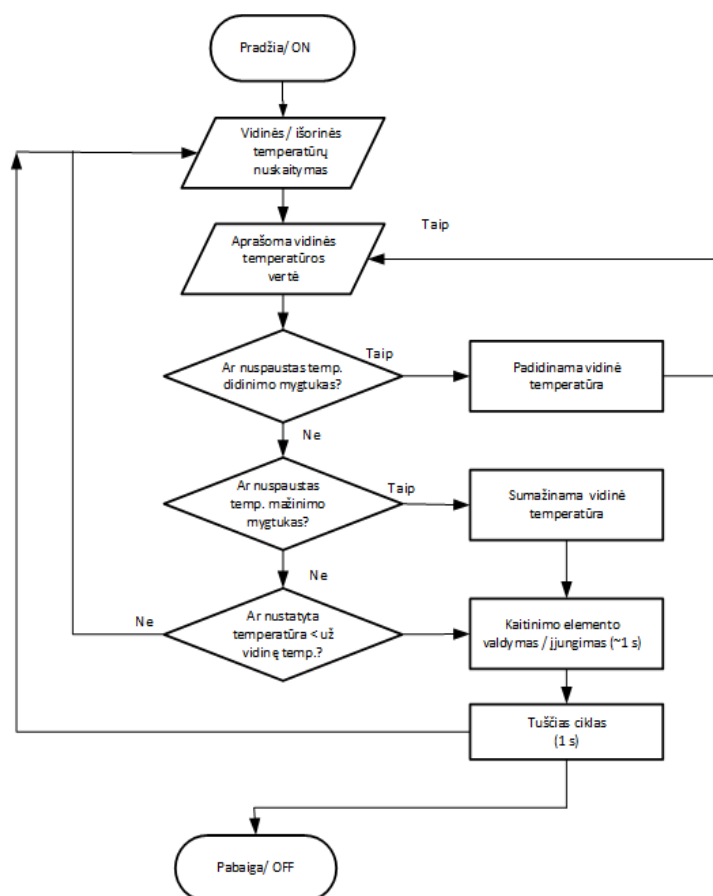
Sistema iš esmės būna trijose pagrindinėse būsenose:

1. *Išorinės ir vidinės temperatūros tikrinimo* metu mikrovaldiklis nuskaitya temperatūros rodmenis avalynės viduje bei išorėje. Nustačius temperatūrą, mikrovaldiklis užaktyvina kaitinimo elementą arba pereina į „miego“ režimą.

2. „*Budėjimo*“ režime mikrovaldiklis, pasitelkiant termoporas, nuolatos „stebi“ temperatūrą avalynės viduje ir išorėje. Atsiradus pakitimams, grįžtama į pradinę būseną.

3. *Kaitinimo* metu yra įjungiamas tranzistorinis raktas, kuris leidžia tekėti srovei į kaitinimo elementą ir šis pradeda kaisti. Tuomet pastoviai skaitomi temperatūros rodmenys ir, pasiekus reikiamą temperatūrą, grįžtama prie pradinės būsenos.

Visos šios būsenos (nuo paleidimo iki išjungimo) keičiasi automatiškai. Įvertinus adaptyvaus šildymo pagrindines būsenas, sukurtas šildymo sistemos temperatūros adaptyvaus reguliavimo algoritmas (7 pav.).



7 pav. Šildymo temperatūros adaptyvaus palaikymo algoritmas

Šaltinis: sudaryta autorių

Sistemos temperatūros ekspertinis vertinimas

Šildymo poreikio nustatymui reikia atsižvelgti į aplinkos išorės temperatūrą ir avinčio asmens komforto pojūtį. Tyrimo metu šalčio/šilumos pojūtis vertintas su vienu tiriamuoju asmeniu trimis atvejais:

1) laikant koją bate ant šalto pagrindo (buvo nustatytas šalčio slenkstis (kada ir kokioje temperatūroje žmogus pradeda jausti diskomfortą);

2) šildant vidpadį, batui esant ant kambario temperatūros grindų (nustatyta, kokioje temperatūroje pradedamas jausti karštis, kuris jau kelia diskomfortą);

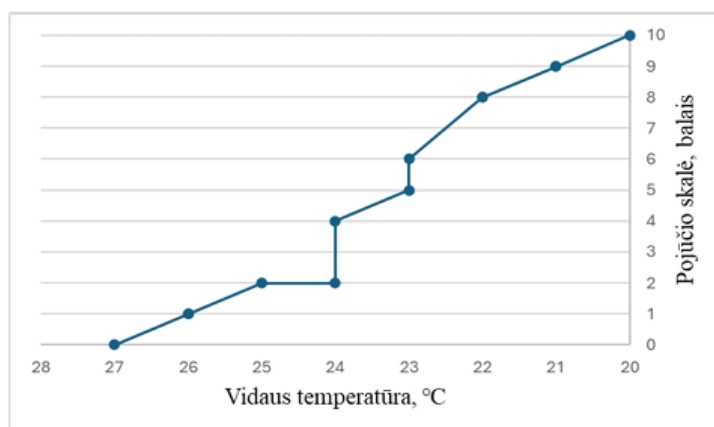
3) šildant vidpadį, kai batas pastatomas ant šalto pagrindo (išsiaiškinta, kokia temperatūra yra komfortiška esant šaltai aplinkai). Pagrindas atšaldytas naudojant ledo kubelius plastikiniuose maišeliuose, o temperatūra matuota termometru tiek bato viduje, tiek išorėje (8 pav.).



8 pav. Šildymo/šaldymo eksperimento iliustracija
Šaltinis: sudaryta autorių

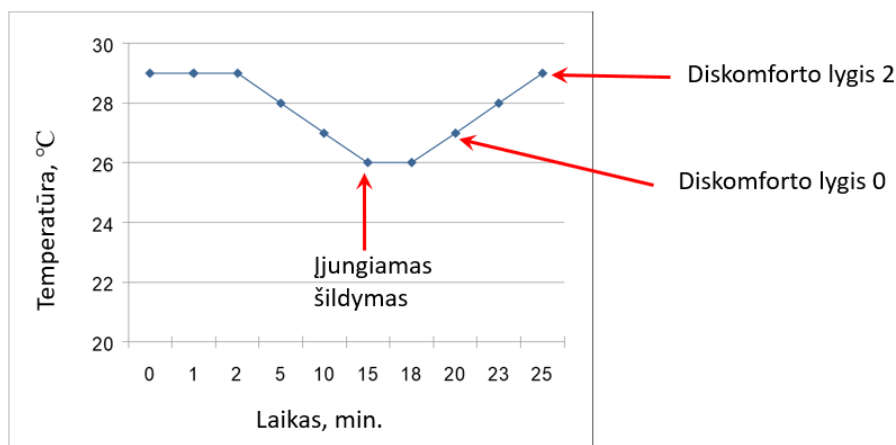
Komforto ir diskomforto pojūtis vertintas 10 balų skalėje: 1 - vos juntama šiluma/šaltis; 5 - vidutinis diskomfortas; 10 - labai didelis diskomfortas (karštis arba šaltis). Vertinime 0 buvo naudojamas, kuomet tiriamasis negali pasakyti ar šilta, ar šalta (nejaučia temperatūros kitimo). Kaitinimo testas buvo atliekamas keliant temperatūrą ir išlaikant ją stabilia mažiausiai 2 minutes, po kurių įvertintas diskomforto pojūtis.

Šaldymo testas buvo atliktas vienos valandos laikotarpyje, laikant bato padą ant $-1-0^{\circ}\text{C}$ temperatūros pagrindo (ledo kubelių). Komforto-diskomforto lygio priklausomybė nuo bato vidaus temperatūros pateikta 9 pav.



9 pav. Komforto-diskomforto lygio priklausomybė nuo bato vidaus temperatūros
Šaltinis: sudaryta autorių

Šildymo ant šalto pagrindo testas buvo atliekamas laikant batą ant -2°C temperatūros pagrindo. Testo metu temperatūra buvo didinama 10 minučių laikotarpyje, šildymą įjungiant pradėjus jausti šaltį. Šio testo rezultatai pateikiami 10 pav.

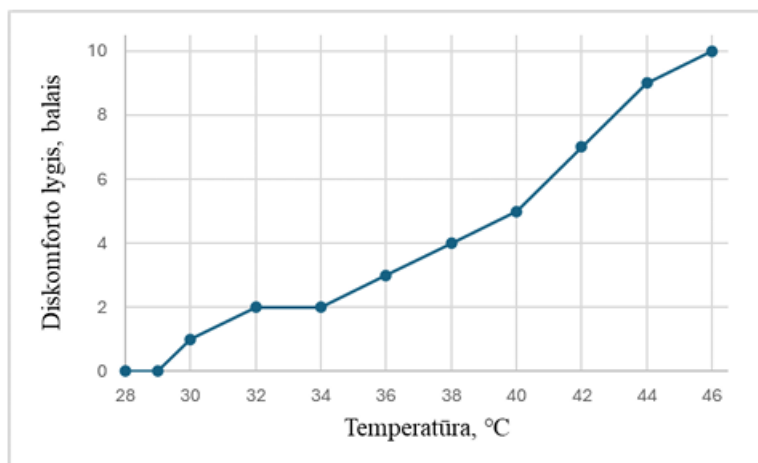


10 pav. Šildymo ant šalto pagrindo testo rezultatai

Šaltinis: sudaryta autorių

Šildymo testas, avalynę pastačius ant kambario temperatūros pagrindo, atliktas esant 24 °C pradinei bato vidaus temperatūrai. Tyrimo metu buvo keliama vidpadžio temperatūra, kuri buvo laikoma ne mažiau kaip 2 minutes iki fiksuojamo diskomforto lygio vertinimo. Gauti rezultatai pateikiami 11 pav.

Ekspertiniu metodu vertinant komfortišką avalynės vidaus temperatūrą, nustatyta, kad tiriamuoju atveju optimali buvo 26–28 °C temperatūra. Taip pat nustatyta, jog bato vidpadžio temperatūrai nukritus iki 24 °C, labai greitai pradeda augti diskomforto pojūtis, o temperatūra nukritus žemiau nei 20 °C, atsiranda nemalonūs pėdoms šalčio pojūtis. Esant aukštesnei nei 30 °C vidinei avalynės temperatūrai, atsiranda nežymus šilumos pojūtis, o viršijus 40 °C, sukeliamas diskomforto pojūtis dėl perkaitimo.



14 pav. Šildymo ant kambario temperatūros pagrindo testo rezultatai

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados ir diskusija

6. Atlikus galimų šildomosios avalynės realizavimo būdų apžvalgą, nustatyta, kad šildymo elementui optimalu naudoti poliamido/kaptono šildytuvą dėl jo mechaninio atsparumo tempimui ir plyšimui ir didelio temperatūrų diapazono.

7. Atlikus sistemos realizavimo būdų analizę, pateikta kaitinimo elemento galios ir baterijos talpos parinkimo analizė, atsižvelgiant į reikalingą veikimo laiką. Nustatyta, kad turint 8,64 Wh bateriją įrenginys kaitinimo režime 12 valandų gali veikti naudodamas 0,5-1 W galią, o norint ją padidinti bent iki 1,5W, veikimo laikas sumažėja iki 8 val. Todėl baterijos talpa turi būti ne mažesnė kaip 5 Ah.

8. Adaptyvaus avalynės šildymo sistemos funkcionalumas ištestuotas siekiant nustatyti šildymo poreikį pagal aplinkos temperatūrą ir avinčio asmens subjektyvųjį komforto pojūtį. Subjektyviai suvokiama temperatūra vertinta trimis atvejais: 1) laikant koją bate ant šalto pagrindo, 2) šildant vidpadį, kai batas buvo pastatytas ant kambario temperatūros grindų, 3) šildant vidpadį, kai batas pastatytas ant šalto pagrindo. Nustatyta, jog komfortiška temperatūra avinčiajam yra 26–28 °C, o vidpadžio temperatūrai nukritus iki 24 °C, labai greitai padidėja diskomforto pojūtis, kuris tampa nepriimtiniu, kai vidpadžio temperatūra nukrenta žemiau

nei 20 °C. Taip pat nustatyta, jog, viršijus 40 °C, avalynės savininkui sukeliamas diskomforto pojūtis tik jau dėl perkaitimo.

4. Pateikiami rezultatai iliustruoja elektroninės sistemos kūrimo metodiką, nuo koncepcijos parinkimo iki jos patikrinimo eksperimentiškai, o jų platesnis taikymas galimas atlikus didesnę kiekį komforto/diskomforto ekspertinių vertinimų bei surinktų rezultatų statistinę analizę.

5. Sukurta sistema skirta palaikyti optimaliai avalynės temperatūrai, jos algoritme įdiegus automatinį tyrimų metu nustatytos optimalios temperatūros reguliavimą.

Literatūra

1. Carceller Anna, Javierre Casimiro, Ríos Martín, Viscor Ginés. Amputation Risk Factors in Severely Frostbitten Patients. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019 Apr 15;16(8):1351.
2. Cheung Stephen S. Responses of the hands and feet to cold exposure. *Temperature (Austin)*. 2015 Feb 27;2(1):105–120.
3. Guangju Liu, Yun Su, Wen Zhu, Miao Tian, Jun Li, Yujing Tian. Numerical simulation of heat transfer in electrically heated footwear in a severely cold environment. *Building and Environment*, Vol.207, Part B, 2022, 108429.
4. Hickey Charles, Woodward Authur, Hanlon William. A Pilot Study to Determine the Thermal Protective Capability of Electrically Heated Clothing and Boot Inserts. U.S. Army Research Laboratory Human Research and Engineering Directorate Aberdeen Proving Ground, Maryland, 1993. Prieiga internete: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA276511.pdf>
5. Isik Hakan. Design and Construction of Thermoelectric Footwear Heating System for Illness Feet. *Journal of Medical Systems*, Vol. 29, No.6, 2005, p.627–631.
6. Rachel A. Patricia M., Nie, Rui, Seward B. Foot Temperature in Healthy Individuals // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2010 Nr.4, p. 258-264.
7. Sneha Mali. Electric Heated Shoes Market Report 2025 (Global Edition). Prieiga internete: <https://www.cognitivemarketresearch.com/electric-heated-shoes-market-report>
8. Glovii heated insoles with remote GW2. Glovii.com, Gdynia, Poland. [žiūrėta 2024 10 25]. Prieiga per internetą: <https://glovii.com/en/142-my-feet-needs-to-be-warmed-up>
9. Alpenheat Comfort Bootheaters. [žiūrėta 2024 10 25]. Prieiga per internetą <https://shop.alpenheat.com/en/15-accs-bootheaters>
10. Bheater Flexible Heater Design Guide. ADMA Technology (Shenzhen) Co.,LTD. [žiūrėta 2023 11 22]. Prieiga per internetą: <https://www.bheater.com/wp-content/uploads/2023/02/Bheater-Thermal-Solutions-Design-Guide.pdf>

ADAPTIVE SHOE HEATING SYSTEM

Summary

During the cold season, it is important to maintain a comfortable foot temperature, as cooling the feet can lead to necrosis in the most severe cases. Too high a temperature promotes sweating and discomfort. An adaptive footwear internal heating system is proposed to address this problem. A system has been developed for proof-of-concept, which is autonomously powered by a 3,6 V 4000mAh Li-ion battery, whose current is fed by a microcontroller-controlled switch to a 2-3 W resistive copper polyamide/captone heating element, integrated in the insole. Two sensors are used to measure the internal and external temperatures and the microcontroller uses the readings to adjust the heating power. The system features automatic heating intensity control, temperature change monitoring, a low-energy mode and a minimum of 8 hours of continuous operation. The system shall be mounted on the shoe ball and shall be separate for each shoe. Studies have shown that when the temperature of the insole of the shoe cools down to 24°C, the wearer quickly feels discomfort and when it drops below 20°C, an unacceptable cold sensation occurs. Above 40°C, discomfort due to heat is experienced. The optimum internal temperature of the shoe should be maintained in the range of 26 - 28°C

KEY PARAMETER ANALYSIS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Piñeiro Redondo Yara, Esmeralda Štyps

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

The theoretical concepts necessary to understand photovoltaic technology are presented, including the most relevant technical parameters and architectural considerations for integrating solar panels on the facade.

KEY WORDS. Photovoltaic technology, solar panels, photovoltaic module.

Introduction

Climate change and the growing environmental degradation are undoubtedly among the greatest challenges facing our society today. Dependence on fossil fuels has not only driven global warming but also deteriorated air quality, severely impacting health and well-being worldwide.

In Europe, significant progress has been made in promoting sustainable and low-energy buildings, following the regulations set by the European Union. These regulations aim for new and renovated buildings to achieve nearly zero-energy consumption. In the specific case of Lithuania, energy policies are also aligned with the European Union's Energy Strategy, encouraging the adoption of clean technologies and promoting energy efficiency in the construction sector. This research seeks to contribute to these objectives through the design and implementation of a photovoltaic system integrated into the facade of the Student Residence Hall in Kaunas, Lithuania, to reduce its reliance on conventional energy sources and maximize the building's sustainability.

The research object: photovoltaic modules.

The main objective of this research is to describe the key parameter of photovoltaic systems.

The tasks:

1. to describe the fundamental parameters of photovoltaic modules.
2. analyse main characteristics of a photovoltaic module.

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Photovoltaic technology and fundamental parameters

Photovoltaic technology forms the foundation of solar energy generation systems, which convert sunlight into electricity through the photovoltaic effect. This phenomenon occurs when photons from sunlight strike a semiconductor material (usually silicon), causing the movement of electrons and generating an electric current. This direct current (DC) can be converted to alternating current (AC) via an inverter and used to power electrical devices or be fed into the electrical grid.

Martin Sander, Jörg Bagdahn [1] identified the key concepts and parameters influencing the operation of a photovoltaic panel, along with characteristic curves representing its behaviour, are:

- **Open Circuit Voltage (Voc):** The open circuit voltage is the maximum voltage a photovoltaic panel can achieve under illumination without being connected to a load. This value is obtained when no current flows through the circuit and represents the highest voltage point on the I-V curve. Voc is an important parameter because it determines the upper voltage limit that a panel can provide and serves as a reference for sizing inverters and calculating series configurations of modules.

- **Short Circuit Current (Isc):** The short circuit current is the maximum current a panel can generate when its terminals are short-circuited, meaning when the voltage is zero. It represents the highest current point on the I-V curve. This value is directly influenced by solar irradiation and temperature and is often used to characterize panel performance under different lighting conditions.

- **Maximum Power Point (Mpp):** The maximum power point is the point on the I-V curve where the product of voltage and current ($P = V \times I$) is at its highest. This point is expressed with two parameters: the voltage at maximum power point (V_{mp}) and the current at maximum power point (I_{mp}). Mpp is the point at which the panel operates most efficiently and generates the maximum amount of energy. It is a key parameter for photovoltaic system design, as controllers and inverters adjust the load to enable the panel to operate at this point and maximize energy production.

- **Maximum Power (Pmax) or Peak Power (Ppp):** Maximum power, also known as nominal output power or peak power (measured under standard test conditions, STC), is the maximum power the panel can deliver when operating at the maximum power point. This value is used to classify photovoltaic panels and is a crucial reference for system sizing.

- **Temperature Coefficients:** Temperature coefficients indicate how V_{oc} , I_{sc} , and P_{max} vary with changes in temperature. The efficiency of photovoltaic panels decreases as temperature increases, so a low temperature coefficient is preferable to minimize losses in warm climates. These coefficients help predict performance fluctuations under different environmental conditions and are essential for system design in areas with variable temperatures.

To design an effective photovoltaic system our study oriented in understanding the electrical behaviour of photovoltaic modules and the parameters that define their performance.

Factors Affecting the performance of a photovoltaic module is influenced by various environmental and technical factors:

- **Solar Irradiation:** The amount of solar irradiation a module receives is directly proportional to its current output and, therefore, to the power generated. Irradiation varies throughout the day and across seasons, affecting the total energy that can be generated annually.

- **Temperature:** As the module temperature increases, voltage decreases, which reduces conversion efficiency. This is due to the sensitivity of silicon to high temperatures. Temperature coefficients help predict these performance variations based on ambient temperature.

- **Angle of Incidence and Orientation:** The angle of incidence of sunlight relative to the panel surface influences the amount of effective irradiation the module receives. For a façade installation, this angle depends on the building's orientation and tilt. South-facing orientations are typically optimal in the Northern Hemisphere, as in Kaunas, allowing for maximum annual solar capture.

- **Shading and Obstacles:** The presence of shadows or nearby buildings can significantly reduce energy generation. Partially shaded modules generate less current, impacting the overall system performance if modules are connected in series.

Types of Photovoltaic Panels

Photovoltaic systems use different types of panels based on the material and manufacturing process of their cells. Choosing the right type of panel is essential, as each type has unique characteristics in terms of efficiency, durability, and cost, which impact the overall system performance. The most common photovoltaic panels are mainly classified into three types based on the cell material:

- 1) monocrystalline silicon,
- 2) polycrystalline silicon, and
- 3) amorphous silicon.

Monocrystalline Silicon. Monocrystalline silicon panels are made from cells of a single pure silicon crystal. These panels are manufactured from silicon ingots that are cut into thin, uniform wafers. Due to their high purity and uniform crystal structure, monocrystalline panels are highly efficient and have a dark, uniform appearance.



Fig. 2. Monocrystalline silicon panels [2]



Fig. 3. Polycrystalline silicon panels [2]

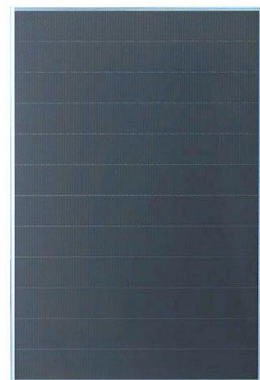


Fig. 4. Amorphous silicon [2]

Polycrystalline Silicon. Polycrystalline silicon panels are made up of multiple silicon crystals fused into a single cell. This process is less expensive and produces cells with a bluish appearance and variable shine due to the random arrangement of the crystals.

Amorphous Silicon. Amorphous silicon is a non-crystalline material used in thin-film panels. Unlike monocrystalline and polycrystalline panels, amorphous panels lack a crystalline structure, allowing them to be

manufactured in thin, flexible layers. This type of panel is produced by depositing amorphous silicon onto a substrate of glass, plastic, or metal, forming a thin and flexible layer.

Researching allowed us to classify the characteristic of monocrystalline silicon, polycrystalline silicon and amorphous silicon due to efficiency, durability, cost and application.

According to the Efficiency:

- Monocrystalline silicon panels have the highest performance among silicon-based panels, with efficiencies ranging between 12% and 16%. Efficiency depends on the quality of the silicon crystal and the manufacturing process.
- Polycrystalline panels have slightly lower performance than monocrystalline, with efficiencies ranging between 11% and 14%. This difference is due to lower purity and the presence of multiple crystals in each cell, which limits electron flow.
- Amorphous silicon panels have significantly lower efficiency compared to crystalline silicon panels, typically around 7%. This low efficiency limits their application in tests where space is restricted.

Due to Durability:

- Monocrystalline silicon panels, due to their solid, homogeneous structure, are highly resistant to oxidation and degradation, making them a durable and reliable choice for long-term installations
- Although polycrystalline panels are more susceptible to degradation than monocrystalline, they have good resistance to high temperatures, which can be advantageous in warm climates.
- While amorphous silicon panels are cheaper and more flexible, they tend to degrade faster and have a shorter lifespan 93es crystalline silicon panels.

Looking to the cost:

- The manufacturing process for monocrystalline silicon is more expensive due to the crystal growth and cutting process, resulting in a higher cost compared to other types of panels.
- The manufacturing process is simpler and more economical, reducing the cost of these panels compared to monocrystalline options.
- Amorphous silicon production is tests costly, as the thin-layer deposition process requires tests material and lower energy.

Taking into the account the recommendation for the application:

- Monocrystalline Silicon is ideal for installations where space is limited, and maximizing energy generation on a small surface area is required, such as in urban or residential setups.
- Polycrystalline Silicon suitable for larger installations where ample space is available and cost savings are a priority.
- Amorphous Silicon versatility and low cost make them suitable for applications on large surfaces and systems where weight and flexibility are important factors.

Conclusions

1. The most common photovoltaic panels are mainly classified into three types based on the cell material: monocrystalline silicon, polycrystalline silicon, and amorphous silicon.
2. Main characteristic of photovoltaic panels is efficiency, durability. Efficiency (%): Monocrystalline Silicon - 12 – 16; Polycrystalline Silicon - 11 – 14; Amorphous Silicon – 7. Durability: Monocrystalline Silicon - High; Polycrystalline Silicon - Moderate; Amorphous Silicon – Low.

References

1. Martin Sander, Jörg Bagdahn. Systematic investigation of cracks in encapsulated solar cells after mechanical loading. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2013. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/photovoltaic-modules>
2. Photovoltaic (PV) materials and devices convert sunlight into electrical energy. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>

FOTOVOLTINIŲ SISTEMŲ PAGRINDINIŲ PARAMETRŲ ANALIZĖ

Santrauka

Pateikiamos teorinės sampratos, būtinos norint suprasti fotovoltinę technologiją, įskaitant svarbiausius techninius parametrus ir architektūrinius aspektus integruojant saulės baterijas į fasadą.

PECULARITIES OF WAVE ENERGY USAGE FOR HOME USE

Pablo Urbelz Caro, Esmeralda Štys

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Wave energy holds the promise of sustainable, low-carbon future, but achieving this requires ongoing innovation and support to overcome existing limitations. This research demonstrates usage of wave energy for home systems.

KEY WORDS. Wave energy, renewable energy solutions.

Introduction

Wave energy is generated by the movement of ocean and sea waves, driven primarily by wind. This natural process results in a vast amount of energy that can be converted into electricity, making it an attractive option for clean energy generation. Unlike other renewable sources, such as solar and wind, wave energy offers high power density and consistent energy patterns, particularly in specific coastal regions.

With an estimated global potential of generating terawatts of energy annually, wave energy could significantly contribute to meeting the growing demand for electricity, especially in regions close to the sea. There are very rare studies of wave energy technologies for using them in houses. Our study is focused on several challenges, including high installation costs, environmental concerns, and the need for further technical advancements.

Research object: wave energy.

Research aim: to foresee the main requirements of wave energy usage for a house.

The tasks:

1. Analyse key considerations for wave energy requirements of a household.
2. Describe main advantages and challenges of wave energy.

Research methods: analysis of technical documents, mathematical analysis.

Wave energy requirements

It lays the groundwork for understanding how wave energy can be harnessed, the technologies involved, and the advantages and challenges associated with its use. As global energy demands increase and the urgency for sustainable solutions grows, wave energy has emerged as a promising alternative that can contribute significantly to the energy mix.

Wave energy is a form of renewable energy generated by the movement of water in oceans and large lakes, primarily influenced by wind. When the wind blows across the water's surface, it creates waves that carry energy across vast distances. This energy can be harnessed to generate electricity.

In Wanan Sheng [2] studies mentioned that the greatest challenges would be how the performance of wave energy converters can be reliably assessed and how the wave energy conversion efficiency can be improved. Emre Ozkop, Ismail H. Altas [3] studies focused on the introduction of the status of wave energy conversion (WEC) technologies from a different perspective.

In our studies first we analyzed the fundamental principle of wave energy, which lies in the conversion of the energy contained in the waves into usable power. Waves possess both kinetic energy (which is related to the motion of water particles), and potential energy, which is associated with the height of the wave above its mean water level. The total energy of wave can be influenced by its height and period. Specifically, the energy in a wave increases significantly with its height (doubling the wave height results in approximately four times the energy due to the relationship between wave energy and the square of the wave height).

Several factors affect the energy produced by waves:

- Wave height: taller waves carry more energy, making high-energy coastal areas particularly suitable for wave energy conversion.
- Wave period: the wave period, defined as the time between consecutive wave crests, influences the amount of energy a wave can deliver. Longer wave periods generally indicate more powerful waves.
- Wavelength: the distance between wave crests also impacts energy density; longer wavelengths typically mean more energy can be captured by devices designed to harness this power.

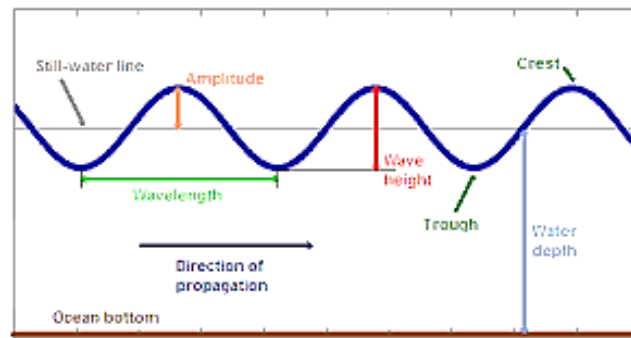


Fig. 1. Energy produced by waves [1]

The conversion of wave energy into electrical energy involves the use of specialized devices known as wave energy converters (WECs). These devices are designed to capture the motion of waves, converting the kinetic and potential energy into mechanical energy, which can then be transformed into electrical energy. The effectiveness of WECs depends on their design, location, and the characteristics of the waves they encounter.

Current technologies. Wave energy conversion technologies are designed to capture and convert the energy produced by ocean waves into usable electricity. Various designs have been developed to harness the kinetic and potential energy present in waves, each with distinct operational principles. The main categories of wave energy converters (WECs) include:

- **Point absorbers.** Devices float on the surface of the water and move with the waves. They operate by converting the up-and-down motion of the waves into mechanical energy. A common design involves a buoy connected to a submerged platform. As the buoy rises and falls with the waves, it drives a generator to produce electricity. Point absorbers are advantageous due to their compact size and ability to operate in a variety of sea conditions.
- **Oscillating water columns (OWCs).** OWCs utilize the rise and fall of water levels inside a chamber to drive air through a turbine, generating electricity. As waves enter the chamber, they create pressure changes that push air in and out, turning the turbine. This technology is particularly effective in areas with consistent wave patterns, providing reliable source of energy.

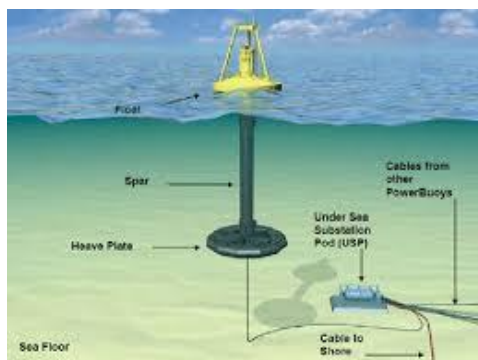


Fig. 2. Point absorbers [1]



Fig. 3. Prototype of Oscillating water columns (OWCs) [1]

- **Attenuators.** Are long, floating structures that align parallel to wave direction. Attenuators flex at the joints as waves pass, capturing energy through this bending motion. They are typically deployed in arrays to maximize energy capture and are particularly effective in regions with strong wave activity.

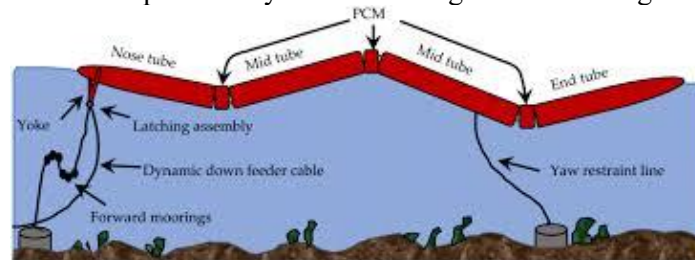


Fig. 4. Attenuators [2]

- **Overtopping devices.** Systems capture waves as they break over a ramp, allowing water to flow over a reservoir. The stored water is then released through turbines to generate electricity. Overtopping devices can be integrated into coastal structures, offering the dual benefit of energy production and coastal protection.

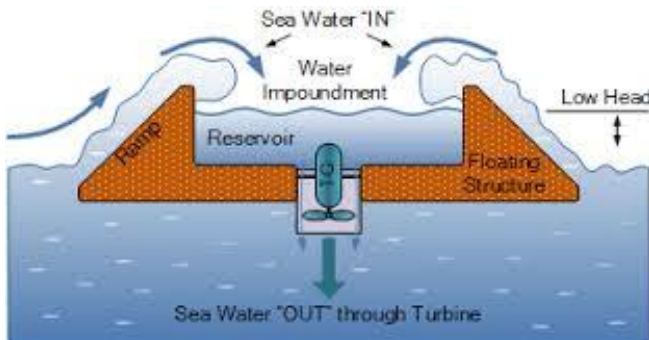


Fig. 5. Overtopping devices [2]

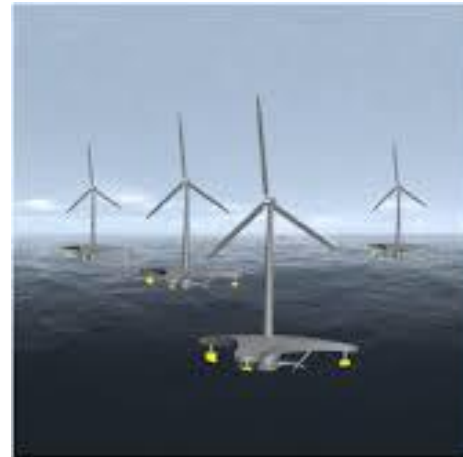


Fig. 6. Hybrid systems [1]

- **Hybrid systems.** Some technologies combine wave energy with other renewable sources, such as wind or solar power, to enhance energy production and reliability. These hybrid systems can leverage the strengths of each energy type, ensuring a more stable energy output.

Each of these technologies has its own advantages and challenges, primarily related to efficiency, durability, and installation costs. While wave energy conversion technologies hold great potential for renewable energy production, ongoing research and development aim to improve their effectiveness, reduce costs, and expand their deployment in various marine environments.

Advantages and challenges of wave energy

Focusing on our study results advantages of wave energy are:

- **Renewable and sustainable:** wave energy is a renewable resource, meaning it is continuously replenished by natural processes. As long as there are winds and ocean currents, waves will continue to form, providing a reliable source of energy.
- **High energy density:** wave energy has a higher energy density compared to other renewable sources like wind and solar. This means that a smaller area can generate a significant amount of power, making it particularly advantageous for coastal areas.
- **Predictability:** unlike wind and solar energy, which can be intermittent, wave energy patterns are relatively predictable. The wave heights and periods can be forecasted, allowing for more reliable energy generation planning.
- **Environmental impact:** when properly designed and implemented, wave energy systems can have minimal environmental impact compared to fossil fuel energy sources. They can produce electricity with little to no emissions, contributing to the reduction of greenhouse gases.
- **Coastal protection:** some wave energy devices can double as coastal defences, reducing wave impact and erosion. This dual functionality can provide additional benefits to coastal communities while generating energy.

Challenges of wave energy oriented to:

- **High initial costs:** the development and installation of wave energy converters can be expensive. High upfront costs associated with technology development, marine construction, and maintenance pose significant challenges to widespread adoption.
- **Environmental concerns:** while generally considered environmentally friendly, wave energy installations can still impact marine ecosystems. Potential effects include changes to local habitats, noise pollution, and risks to marine wildlife during construction and operation.
- **Structural challenges:** wave energy devices must endure harsh marine conditions, including strong currents, saltwater corrosion, and storms. Designing durable systems that can withstand these conditions over time is a significant engineering challenge.

- Energy transmission: transmitting the energy generated from offshore devices to the mainland can be complexed and costly. The infrastructure required for efficient energy transfer and connection to the grid needs careful planning and investment.

- Site specificity: the effectiveness of wave energy systems depends heavily on the geographic location. Areas with consistent wave activity are ideal, but not all coastal regions are suitable for wave energy development, which limits the potential for widespread implementation.

While wave energy presents a promising opportunity for renewable energy production with its high energy density and sustainability, it also faces significant challenges that must be addressed through continued research, technological advancements, and careful site planning. Overcoming these challenges will be crucial to realizing the full potential of wave energy as a key component of the global energy transition.

Conclusions

Wave energy holds the promise of sustainable, low-carbon future, but achieving this requires ongoing innovation and support to overcome existing limitations.

- By harnessing the kinetic energy of waves, we can convert natural ocean movement into usable electricity, offering an environmentally friendly alternative to fossil fuels.

- The development of wave energy technologies has led to diverse designs, including point absorbers, oscillating water columns, and attenuators. Wave energy is highly predictable and continuous, offering a reliable energy source. However, challenges remain, such as high installation costs, potential environmental impacts on marine ecosystems, and technological limitations in energy conversion efficiency.

References

1. S.S. Prakash, K.A. Mamun, F.R. Islam, R. Mudliar, C. Pau'u, M. Kolivuso, S. Cadralala. Wave Energy Converter: A Review of Wave Energy Conversion Technology. 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7941943>
2. Wanan Sheng. Wave energy conversion and hydrodynamics modelling technologies: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 109, July 2019, Pages 482-498. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119302424>
3. Emre Ozkop, Ismail H. Altas. Control, power and electrical components in wave energy conversion systems: A review of the technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 67, January 2017, Pages 106-115. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116305044>

BANGŲ ENERGIJOS NAUDOJIMO NAMUOSE YPATUMAI

Santrauka

Bangų energija žada tvarią, mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančią ateitį, tačiau norint tai pasiekti, reikia nuolatinių naujovių ir paramos esamiems apribojimams įveikti. Šis tyrimas parodo bangų energijos naudojimą namų sistemoms.

AUTOTRANSPORTO ELEKTRONIKOS SISTEMŲ TYIMAI

PROGRAMUOJAMO AUTOMOBILIO VARIKLIO VALDYMO BLOKO EFEKTYVUMO IR GEDIMŲ DAŽNIO TYRIMAS ESANT ĮTAMPOS SVYRAVIMAMS

Tomas Margelis, Rasa Žygienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Nestabili įtampa diagnostikos ar programavimo metu gali sukelti ryšio praradimą, duomenų įrašymo klaidas ir neteisingą kontrolinių sumų skaičiavimą, didinant VVB gedimų dažnį. Tyrimo tikslas – sukurti matematinį modelį, prognozuojantį EDC16 kartos variklio valdymo blokų gedimų dažnį ir diagnostikos patikimumą esant įtampos svyravimams. Nustatyta, kad įtampos kritimas žemiau CAN – 11,88 V, K-Line – 5,88 V sukelia ryšio praradimo tikimybę iki 96 %, o esant 4,90 V, gedimų dažnis padidėja iki 24,3 per 1000 ciklų. Sudarytas matematinis modelis patvirtina stiprų ryšį tarp įtampos stabilumo ir VVB veikimo efektyvumo. Logistinės regresijos modelis rodo, kad įtampai mažėjant žemiau 5,05 V, tikimybė prarasti ryšį tampa itin didelė. Tyrimo rezultatai gali būti pritaikomi optimizuojant diagnostikos procesus ir didinant elektroninių sistemų patikimumą.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Valdymo blokas, diagnostika, automobilis, CAN, K-Line, gedimas, gedimų dažnis.

Ivadas

Automobilių technologijų progresas ypač pastebimas perėjime nuo mechaninių prie elektroninių sistemų valdymo. Šiuolaikiniuose automobiliuose daugelis funkcijų kontroliuojamos variklio valdymo blokų (VVB), kurie užtikrina, kad visos sistemos veiktų sklandžiai ir efektyviai. Tačiau šios technologijos atneša ir naujų iššūkių. Atsiranda specifinių komponentų gedimų, kurių diagnostika tampa itin svarbi tiek automobilio funkcionalumo, tiek saugumo užtikrinimui.

Autorius (Payne, 2019: 4) teigia, kad išmaniųjų automobilių saugumo klausimas tapo svarbiausiu visuomenės ir asmenų saugumo klausimu, o „Duomenų centrų ant ratų“ kibernetinis saugumas kelia didelį susirūpinimą nei bet kada anksčiau. Straipsnyje pateikiama įžanga į šiuolaikinių automobilių CAN (Controller Area Network) magistralę, trumpa įsilaužimo į automobilius istorija bei metodai, kaip patikrinti automobilį ir nustatyti, ar jame nėra įsilaužimo požymių, susijusių su pakartotinėmis atakomis. Taip pat mokoma kaip atlikti atvirkštinį CAN magistralės pranešimų tyrimą, naudojant atvirojo kodo įrankius ir įprastą CAN-USB kabelį arba belaidę jungtį.

Klaidų aptikimas yra labai svarbus aspektas užtikrinant duomenų perdavimo tikslumą ryšių sistemose. Autoriai (Saleh, ir Mohammed, 2024: 813-826) ištyrė klaidų aptikimo metodų veikimą. Pastarieji buvo derinami išsiaiškinti bitų klaidų dažnį, esant vienkartinio ir daugkartinio klaidų aptikimo galimybėms. Buvo tiriami ciklinio perteklinio tikrinimo ir kontrolinės sumos (*Checksum*) metodai. Derinant CRC ir kontrolinės sumos metodus, bendras klaidų aptikimo našumas gerokai pagerėjo nei lyginti su bet kuriuo iš šių metodų naudojimu atskirai.

Kelių transporto priemonių veikla yra nuolat stebima naudojant fizinius parametrus, tokius kaip temperatūra, oro srautas ir sukimosi dažnis. Šie duomenys gaunami iš elektroninių jutiklių ir perduodami pagrindiniam valdymo blokui (VVB, o *angl. ECU*) transporto priemonės vidaus ryšių protokolais, kur jie toliau apdorojami. Autorių grupė (Rimpas et al., 2020: 55-63) parenka parametrus, skirtus pagrindinėms transporto priemonės operacijoms stebėti, ir trumpai aprašome jutiklius, naudojamus šių parametrų reikšmėms gauti. Vertės gaunamos naudojant OBD-II diagnostikos protokolą ir yra susijusios su transporto priemonės veikimu ir degalų sąnaudomis.

Transporto priemonės gedimų diagnozavimas tapo transporto priemonių savininkų prioritetu, kuris sumažina transporto priemonės techninės priežiūros laiką ir sudėtingumą, nes beveik visuose šiuolaikiniuose transporto priemonėse yra OBD-II jungtis. Straipsnyje (Saibannavar et al., 2021: 49-60) pristatoma transporto priemonių diagnostika naudojant borto diagnostikos (OBD) įrankius, nurodomi OBD-I trūkumai ir OBD-I lyginama su OBD-II. OBD-II turi skirtingus parametrų ID režimus, kad būtų galima gauti duomenis iš transporto priemonėje esančio ECU, bendraujančio per CAN magistralę. Daugiausia dėmesio skiriama OBD-II SAE J1850 protokolų palyginimui, keliems dažniausiai transporto priemonėje naudojamiems diagnostinių gedimų kodams (DTC) ir tam, kaip OBD naudoja užklausos ir atsakymo pranešimų formatus, kad būtų galima gauti duomenis iš transporto priemonių naudojant įvairius parametrų ID ir PID režimus.

Sudarytas variklio valdiklio gedimų medis (Shu et al. 2021: 121), remiantis tarptautiniuose standartuose pateikta informacija, kur įvertinamas atskirų variklio valdiklio komponentų gedimų dažnis ir viso variklio valdiklio ir jo sudedamųjų dalių patikimumo rodiklio tendencija atsižvelgiant į elektrinės transporto priemonės eksploatavimo trukmę. Taip pat nustatomi ne tik labiausiai pažeidžiami variklio valdiklio komponentai, bet ir aiškiai pastebimas viso variklio valdiklio senėjimas laikui bėgant.

Viena iš prioritetinių prietaisų diagnostikos plėtros kryptių yra bandomoji diagnostika. Pagrindiniai tokio testavimo privalumai yra šie (Gritsenko et al. 2020: 48): didelė diagnozuojamų variklio sistemų aprėptis; didelis informatyvumas; diagnostikos proceso patikimumas; diagnostikos proceso supaprastinimas; diagnostikos parametrų skaičiaus sumažinimas.

Variklių valdymo blokų diagnostikai naudojami įvairūs protokolai, tarp jų ISO, SAE, OEMs ir UDS. UDS (Unified Diagnostic Services) buvo sukurtas kaip ISO-14299 standarto prototipas, skirtas standartizuoti diagnostikos procesus. Šio protokolo pagrindinė paskirtis – ne tik palengvinti diagnostiką, bet ir integruoti funkcijas, galinčias pakeisti kitus diagnostikos protokolus. Tai ypač svarbu, nes variklio valdymo blokas yra neatsiejama automobilio dalis, valdanti daugelį sudėtingų sistemų – nuo degalų įpurškimo iki pavarų dėžės ar klimato kontrolės. Todėl gamintojai testuoja šiuos blokus įvairiomis ekstremaliomis sąlygomis, siekdami užtikrinti jų patikimumą.

Testavimai (Ivanov ir Smith, 2019: 122-134) apima tiek funkcinius, tiek programinius aspektus, siekiant išvengti bet kokių netikslumų, galinčių sukelti rimtų pasekmių – nuo brangiai kainuojančių remontų iki pavojų gyvybei. Nepaisant visų pastangų užtikrinti variklio valdymo blokų kokybę, jų gedimai vis dar yra dažna problema. Viena iš dažniausiai pasitaikančių bėdų – automobilio neužsivedimas dėl variklio valdymo bloko programinės įrangos ar komponentų gedimo (Johnson ir Peters, 2017: 45-50). Oficialūs automobilių gamintojai šiais atvejais dažnai siūlo vienintelį sprendimą – visiškai pakeisti variklio valdymo bloką nauju. Tai vartotojui gali kainuoti labai brangiai, nes remonto darbai ir naujo komponento kaina dažnai viršija lūkesčius. Dėl šios priežasties vis dažniau naudojami alternatyvūs metodai – tiek diagnostikos, tiek remonto srityje. Šie metodai ne tik leidžia greičiau nustatyti gedimus, bet ir sumažina kaštus.

Pastebima, kad pažangios diagnostikos ir programavimo sistemos, dirbtinio intelekto pagrindu, gali atlikti detalesnę analizę ir net prognozuoti galimus gedimus (Rahman ir kt., 2021: 2231-2248). Tai skatina platesnę diskusiją apie diagnostikos efektyvumą ir vartotojų interesų užtikrinimą. Ateityje tikimasi, kad diagnostikos technologijos taps dar labiau integruotos ir automatizuotos, taip sumažindamos gedimų dažnumą bei kaštus. Svarbiausia, kad šios sistemos būtų ne tik tikslios, bet ir prieinamos įvairių segmentų vartotojams.

Straipsnio aktualumas. Tikslus ir patikimas VVB programavimas yra būtinas siekiant užtikrinti stabilų automobilio veikimą, tačiau nestabili įtampa diagnostikos ar programavimo metu gali sukelti duomenų įrašymo klaidas, ryšio praradimą ir neteisingą kontrolinių sumų skaičiavimą. Šie trikdžiai ne tik padidina transporto priemonės nepatikimumą, bet ir gali sukelti papildomas remonto bei diagnostikos išlaidas, nes dažniau tenka taisyti arba keisti VVB. Be to, didesnis VVB gedimų dažnis reiškia didesnes eksploatacijos sąnaudas dėl būtinybės dažnai atnaujinti ar keisti sisteminius modulius. Tai ypač svarbu šiuolaikiniuose automobiliuose, kuriuose VVB glaudžiai integruoti su kitomis sudėtingomis elektroninėmis sistemomis – vieno bloko gedimas gali turėti domino efektą, trikdydamas visos transporto priemonės veikimą. Todėl būtina tirti ir tobulinti technologijas, kurios padėtų stabilizuoti įtampą programavimo ir diagnostikos metu, taip mažinant gedimų dažnį, užtikrinant patikimą bei saugų transporto priemonės veikimą.

Problema. Kaip nestabili įtampa diagnostikos ir/ar programavimo metu veikia automobilio variklio valdymo bloko EDC16 kartos veikimą ir gedimų dažnį?

Tyrimo tikslas yra sukurti matematinį modelį, leidžiantį prognozuoti EDC16 kartos variklio valdymo blokų gedimų dažnį ir jų diagnostikos patikimumą esant įtampos svyravimams. Tyrimu siekiama išsiaiškinti, kokie įtampos parametrai yra kritiški VVB veikimui ir kaip šie parametrai veikia gedimų atsiradimą bei efektyvumą. Variklio valdymo blokams šis rodiklis yra ypač svarbus, nes tiesiogiai veikia transporto priemonės patikimumą, veikimą ir saugumą.

Uždaviniai:

1. Nustatyti automobilio valdymo bloko charakteristikas ir galimus jo gedimus.
2. Atlikti eksperimentus, siekiant ištirti įtampos svyravimų įtaką valdymo bloko veikimui.
3. Sukurti matematinį modelį, prognozuojantį įtampos svyravimų poveikį automobilio variklio valdymo bloko efektyvumui ir gedimų dažniui.

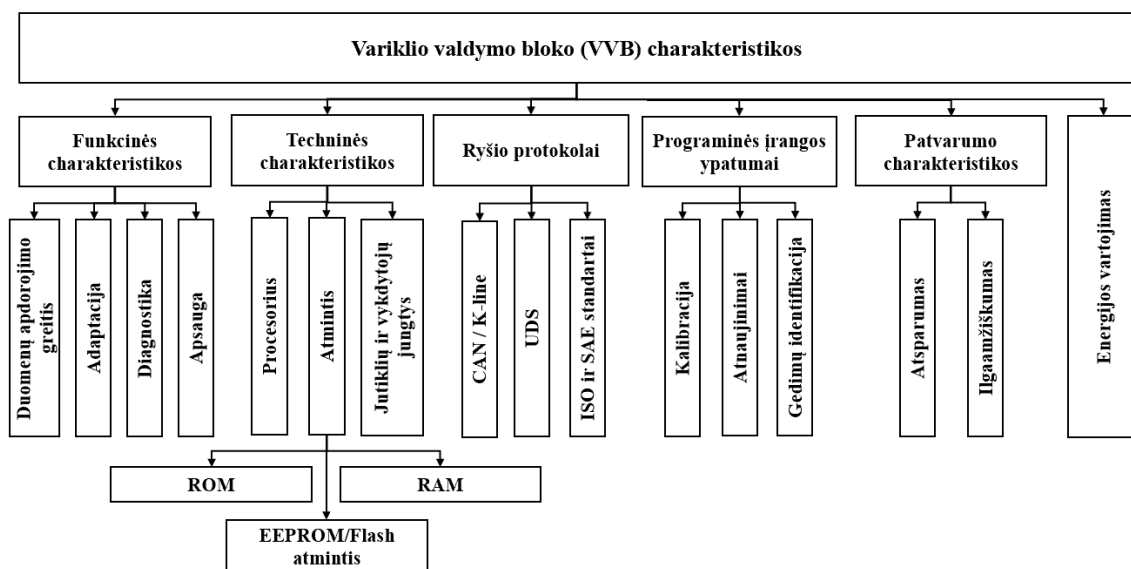
Keliama hipotezė. Jei automobilio variklio valdymo bloko diagnostikos ir programavimo metu įtampa yra nestabili, tai gali sukelti duomenų siuntimo klaidas, netikslų informacijos įrašymą į VVB, komunikacijos praradimą.

Tyrimo metodai. Literatūros ir techninės dokumentacijos analizė siekiant išnagrinėti esamas studijas, susijusias su VVB. Kontroluojami eksperimentai, kuriose simuliuojamos įvairios įtampos svyravimo situacijos ir fiksuojamas jų poveikis VVB veikimui. Matematinis modeliavimas, atspindintis įtampos pokyčių poveikį VVB veikimui, remiantis realiais eksperimentiniais duomenimis, o MATLAB įtampos svyravimų simuliacijoms atlikti ir jų poveikio analizei. Statistinė analizė – atliekama, siekiant nustatyti įtampos svyravimo dėsningumus ir jų poveikį VVB veikimui.

Straipsnį sudaro trys dalys. Pirmojoje dalyje detalizuojama tiriamų automobilių variklio valdymo blokų – EDC16C34 ir EDC16U31 – charakteristikos ir dažniausiai pasitaikantys gedimai. Šiame skyriuje pateikiama svarbiausia informacija apie valdymo blokų konstrukciją, pagrindines funkcijas ir technines specifikacijas. Antrojoje dalyje vykdomas eksperimentinis tyrimas, kurio tikslas – ištirti skirtingų įtampų poveikį minėtiems variklio valdymo blokams ir jų komunikacijai su kitais automobilio komponentais. Trečioje dalyje pateikiamas matematinis modelis, atspindintis įtampos pokyčių poveikį VVB veikimui bei atliekama eksperimentinių ir modelinių duomenų statistinė analizė, siekiant nustatyti įtampos svyravimo dėsningumus ir jų poveikį VVB veikimui. Taikomi duomenų dispersijos (ANOVA) testai, regresinė analizė, vidutinės ir standartinės paklaidos skaičiavimai, leidžiantys nustatyti ryšius tarp įtampos pokyčių ir galimų klaidų VVB diagnostikoje bei programavime.

Automobilio VVB charakteristikos ir gedimų priežastys

Variklio valdymo blokas yra viena svarbiausių transporto priemonės elektronikos dalių, atsakinga už variklio veikimo optimizavimą ir valdymą. Pagrindinės variklio valdymo bloko charakteristikos pateiktos 1 paveiksle. Pagrindinės jo funkcijos apima duomenų apdorojimą realiuoju laiku, signalų iš įvairių jutiklių analizę bei sprendimų priėmimą dėl degalų įpurškimo, uždegimo laiko ir kitų procesų. VVB taip pat pasižymi gebėjimu prisitaikyti prie skirtingų eksploataavimo sąlygų, tokių kaip skirtingos degalų rūšys ar temperatūrų pokyčiai. Diagnostinės funkcijos leidžia fiksuoti klaidų kodus ir nustatyti gedimus, o apsaugos mechanizmai užtikrina saugumą nuo trikdžių, pavyzdžiui, perkaitimo ar per didelės įtampos.

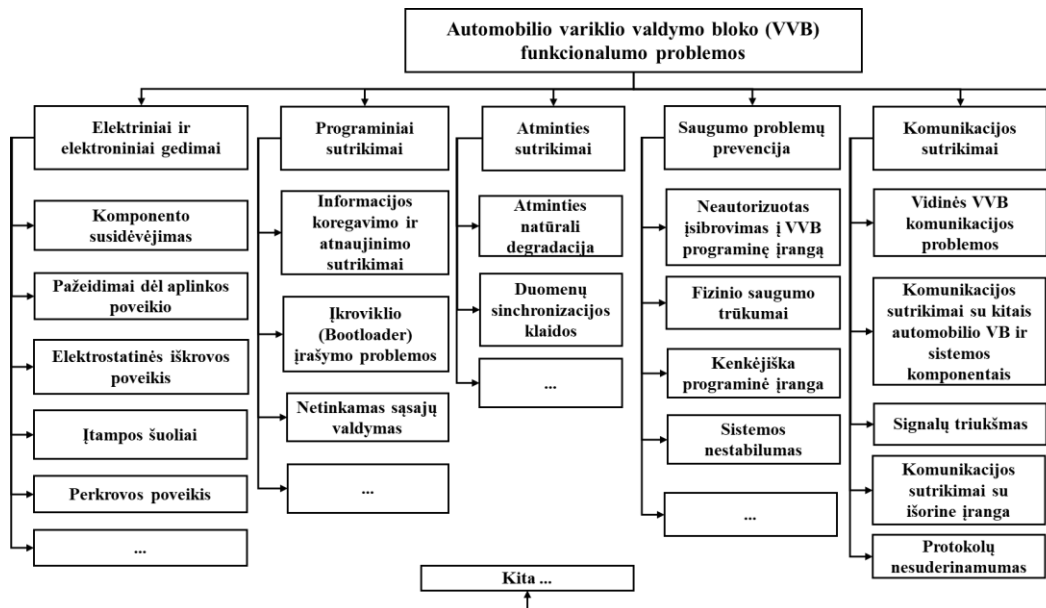


1 pav. Pagrindinės variklio valdymo bloko charakteristikos

Šaltinis: sudaryta autorių

Techninės savybės apima procesorių, dažniausiai sudarytą iš vieno arba kelių branduolių mikrovaldiklio, skirtą sudėtingiems skaičiavimams. VVB turi įvairių tipų atmintį: ROM (programinės įrangos saugojimui), RAM (laikinių duomenų apdorojimui) bei PROM (programuojamoji atmintis - duomenų išsaugojimui net ir išjungus sistemą (Steve V. Hatch, 2012: 43-54)). Taip pat VVB yra prijungtas prie jutiklių, tokių kaip deguonies ar alkūninio veleno padėties jutikliai, bei vykdytojų, tokių kaip purkštukai ar uždegimo ritės. VVB naudoja įvairius ryšio protokolus, tokius kaip CAN (Controller Area Network), skirtą duomenų perdavimui tarp transporto priemonės valdymo blokų, UDS (Unified Diagnostic Services), naudojamą diagnostikai, ir ISO bei SAE standartus, užtikrinančius suderinamumą su kitomis sistemomis. Programinė įranga leidžia optimizuoti variklio veikimą pagal eksploataavimo sąlygas, atnaujinti per diagnostikos jungtį ir registruoti klaidų kodus, kurie padeda nustatyti gedimus. VVB energijos vartojimas optimizuotas taip, kad būtų minimalus, ypač kai automobilis išjungtas, bet reikia išlaikyti tam tikras funkcijas, pavyzdžiui, laikrodžio (Real time clock) veikimą.

Variklio valdymo blokas (VVB) kaip ir bet kuris sudėtingas technologinis įrenginys, gali patirti įvairius gedimus, sutrikimus - funkcionalumo problemas (2 pav.). Terminas „gedimas“ paprastai apibūdina situaciją, kai techninė įranga ar jos komponentai neveikia pagal numatytą funkciją.



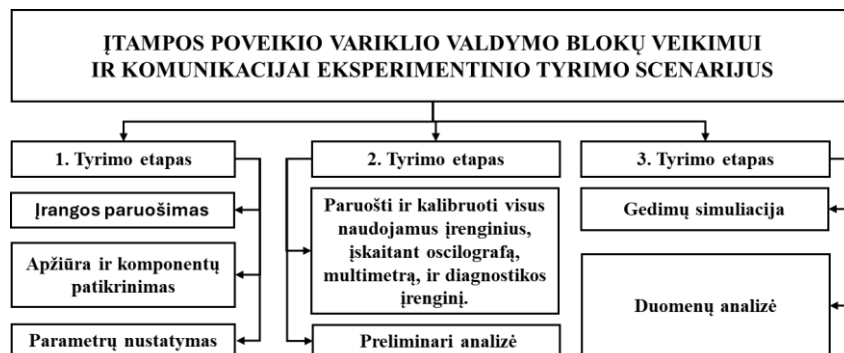
2 pav. Automobilio variklio valdymo bloko funkcionalumo problemos

Šaltinis: sudaryta autorių

VVB gedimai ar sutrikimai gali turėti įvairių pasekmių, pradedant nedideliais nesklandumais ir baigiant visišku įrenginio funkcionalumo praradimu.

Įtampos svyravimų įtakos variklio valdymo blokui eksperimentiniai tyrimai

Esant skirtingiems VVB gedimams, variklio valdymo blokams taikomi skirtingi tyrimo būdai, leidžiantys detaliau apžvelgti ir suprasti gedimus. Svarbu paminėti, jog šiame straipsnyje taikomo tyrimo metu nepateikiama DTC (klaidų kodų analizė), dėl nepavykusios komunikacijos.



3 pav. Įtampos poveikio variklio valdymo blokų veikimui ir komunikacijai eksperimentinio tyrimo scenarijus

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo scenarijus etapais pateikiamas 3 paveiksle. Šis scenarijus, skirtas įvertinti įtampos poveikį variklio valdymo blokų veikimui ir komunikacijai. Tyrimas suskirstytas į kelis etapus, kurie leidžia nuosekliai analizuoti ir vertinti skirtingus aspektus. Tyrimo metu, atliekant automobilio diagnostiką, laikomasi tarptautinio standarto ISO 14229 (UDS), kuris apibrėžia diagnostikos protokolą automobilių ir kitų transporto priemonių elektroniniams valdymo blokams. Šis standartas sukurtas detalesnei valdymo blokų diagnostikai atlikti. Taip pat standarto SAE J1939 naudojamo sunkvežimių ir pramoninių transporto priemonių elektroninės komunikacijos valdymui, leidžiančio perduoti duomenis tarp valdymo blokų. Abu standartai užtikrina efektyvų ir patikimą duomenų perdavimą.

Pirmas etapas yra eksperimento proceso pradžia, kur nustatomi pagrindiniai tyrimo parametrai. Tolesnis veiksmas – įrangos kalibravimas, kuris užtikrina, kad visa naudojama įranga būtų tinkamai sukalibruota ir paruošta eksperimentams.

Maitinimo ir signalų tikrinimas yra gyvybiškai svarbus žingsnis, per kurį tikrinamas variklio valdymo blokų maitinimas ir signalų perdavimo kokybė, o testavimas yra pagrindinis eksperimentinio tyrimo etapas,

kurio metu atliekami bandymai ir renkami duomenys siekiant įvertinti VVB maitinimo stabilumą ir signalų perdavimo kokybę.

Antro etapo metu įvertinti VVB maitinimo stabilumas ir signalų perdavimo kokybė, surinkti pradiniai duomenys apie VVB veikimą esant skirtingomis įtampos sąlygomis. O trečias etapas apima variklio valdymo bloko EDC16U31 komunikacijos eksperimentinius bandymus, kurie yra svarbūs norint užtikrinti tinkamą bloko veikimą po galimų gedimų ar klaidų bei nustatant gedimų komunikacijos praradimo dažnį ir surinkti duomenis apie tiriamo VVB veikimą esant skirtingoms įtampos sąlygoms. Kontrolinės sumos programinis gedimas nustatomas atliekant bandymus su EDC16C34 VVB. Taip pat atliekamas minimalios EDC16C34 VVB programavimui reikalingos maitinimo įtampos tyrimas.



4 pav. EDC16C34 maitinimo kontaktų tikrinimas testavimo lempute

Šaltinis: nuotrauka autorių

Atliekamas variklio valdymo bloko tyrimas, esant komunikacijos sutrikimams arba dingus komunikacijai su programavimo bei diagnostikos įrenginiu, pradedama nuo įrangos kalibravimo, vizualinės patikros, nuosekliai apžiūros jungtys, patikrinama ar nėra korozijos, oksidacijos požymių, neradus akivaizdžių pažeidimų, tikrinamas variklio valdymo bloko maitinimas bei signalai CAN-H ir CAN-L reikalingi komunikacijai su programavimo bei diagnostikos įrenginiu. EDC16C34 maitinimo kontaktų tikrinimas testavimo lempute parodytas 4 paveiksle.

Šio tyrimo etapo metu naudojama: oscilografas, maitinimo testavimo lemputė, multimetras. Naudojantis elektrinėmis principinėmis schemomis (gautomis iš sertifikuotos programinės įrangos), randami maitinimo linijų kontaktai: 3H4, 3C3, 3G1. (CAN-H): 3A3; (CAN-L): 3A4. Atlikus maitinimo bei masės kontaktų tikrinimą (4 pav.) įsitikinus tinkamu variklio valdymo bloko maitinimu, tikrinamas CAN (*angl. Controller Area Network*) signalas, kuris sudarytas iš skirtingos įtampos impulsų, 1 V amplitudėje (5 pav.). Pasitelkus elektrinėmis principinėmis schemomis, nustatoma, jog CAN komunikacijai priklauso CAN-H 3A3 ir CAN-L 3A4.



5 pav. Variklio valdymo bloko CAN signalų patikra

Šaltinis: nuotrauka autorių

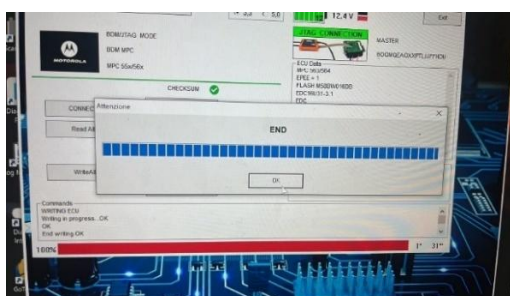
Prijungus oscilografą, nustatoma, jog CAN signalai yra simetriški. Šio tyrimo etapo tyrimo metu nustatyta jog maitinimas VVB yra 12 V, CAN tinkle stebimas ryšys su valdymo bloku, reikalingas programavimui.

Iki tyrimo autoriai susidūrė su keliais EDC16U31 programiniais gedimais, kai programavimo metu, programatorius neužfiksuoja programinės klaidos ir tęsia surašymą. Programavimo metu, patiriamas komunikacijos sutrikimas tarp programavimo įrenginio ir VVB. Patyrus programinį gedimą, variklio valdymo blokas nutraukia visus išorinius signalus, dėl klaidingai išsiųstos kontrolinės sumos. Pasirenkamas BDM gedimo remonto būdas, t.y. programavimo būdu, surašyti pirminę automobilio VVB programą.



6 pav. EDC16U31 programinio gedimo parodymai
Šaltinis: nuotrauka autorių

Variklio valdymo bloko EDC16U31 programos atstatymas. Tyrimo metu naudojama FoxFlash programatorius, maitinimo blokas su įtampos ir srovės reguliavimu. Esant netinkamiems kriterijams, priklausomai nuo variklio valdymo bloko, siunčiami binariniai skaitmenys (*Binary Digits*), kontrolinė suma – naudojama patikrinti ar teisingas duomenų paketas, kai sekcijos iškraipomos arba sugadinamos, taip, jog variklio valdymo blokas praranda komunikaciją.

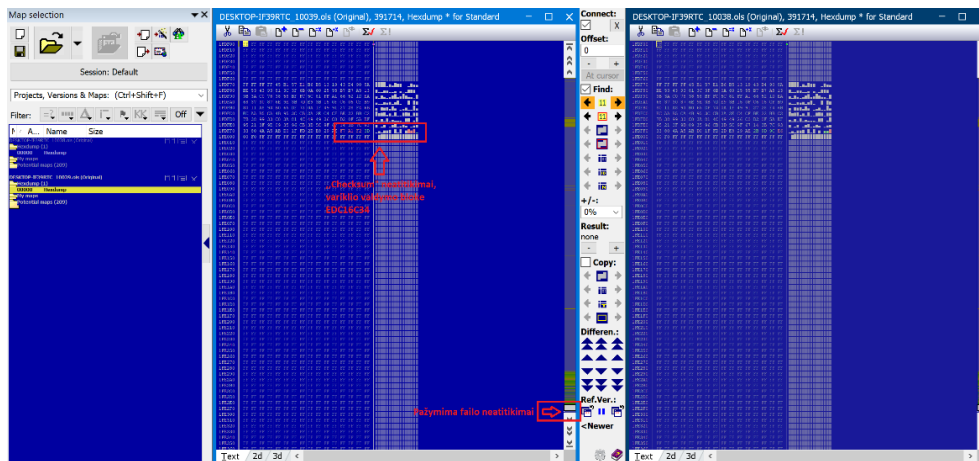


7 pav. VVB diagnostikos programos lango vaizdas naudojant BDM diagnostikos ir programavimo sąsają
Šaltinis: nuotrauka autorių

Nustatyti keli kartai, kad EDC16 šeimos variklio valdymo blokai, nepalaikė *Bench* (kontaktinio programavimo) perrašymo būdo, nors ir naudoja tos pačios šeimos mikrovaldiklius. Patiriamas programinis variklio valdymo bloko gedimas, kurio atstatymui reikalinga naudoti BDM tipo programavimo būdą. Mikrovaldiklyje failai susigadina ir prarandama komunikacija su programavimo/diagnostikos įranga. Variklio valdymo bloko EDC16U31 programinio gedimo pavyzdys parodytas 6 paveiksle. BDM (*Background Debug Mode*) tipo surašymo būdas, skirtas perkelti reikalingai informacijai tiesiogiai į mikrovaldiklį. BDM būdas yra naudojamas diagnostikai, leidžiančiai gauti visą saugomą informaciją iš mikrovaldiklio, taip pat programinės versijos atstatymui, kai variklio valdymo blokas praranda komunikaciją. Jis taip pat naudojamas variklio valdymo blokų duomenų perkėlimui ir modifikacijoms, pavyzdžiui, keičiant vidaus degimo variklio įpurškimo ar turbinos valdymo sekcijas. Variklio valdymo bloko, naudojant BDM, programavimo pavyzdys parodytas 7 paveiksle. BDM būdas suteikia galimybę atstatyti variklio valdymo bloką net ir esant prarastai komunikacijai per OBD-II arba kai neįmanoma užmegzti ryšio su programatoriumi naudojant kontaktinio programavimo protokolą. Be to, BDM užtikrina tiesioginį prisijungimą prie MPCXXX šeimos mikrovaldiklio ir yra saugiausias būdas atliekant programinius bei struktūrinius failų pakeitimus. Daugelyje programatorių, galima pasirinkti PCB plokštės maitinimui reikalingą įtampos dydį (3,3 V arba 5 V).

Atlikus BDM programavimą, EDC16U31 variklio valdymo blokas vėl komunikuoja su išoriniais prietaisais ir kitais valdymo blokais automobilyje. Tyrimo metu nustatyta jog esant netinkamos įtampos ir srovės kiekiui, programatorius siunčiant duomenų paketus į VVB patiria programinį gedimą, variklio valdymo blokas nutraukia komunikaciją.

VVB kontrolinės sumos programavimo, esant skirtingoms įtampoms, tyrimas. Kontrolinė suma, neatsiejama failo struktūros dalis, kurios gedimai, patiriami atliekant tam tikras variklio valdymo bloko modifikacijas. Esant klaidingai suskaičiuotai kontroliniai sumai, variklio valdymo blokas praranda komunikaciją, kadangi tam tikra sekcija tampa nenaudojama dėl kontrolinio kodo neatitikimo. Variklio valdymo bloko EDC16C34 (9 pav.) Kontrolinės sumos gedimo nustatymas WinOLS programinėje įrangoje pateiktas 8 paveiksle. Tyrimo metu naudojama: FoxFlash programavimo įrenginys, WinOLS programinė įranga, maitinimo blokas su įtampos ir srovės reguliavimu.



8 pav. VVB EDC16C34 kontrolinės sumos gedimo pavyzdys, naudojant WinOLS programinę įrangą
Šaltinis: nuotrauka autorių

Atliekant tyrimą automobilio *Peugeot Bipper* su Autel MX808 prietaisu, nustatyti komunikacijos sutrikimai. CAN tinklu prisijungimas galimas, tačiau negalimas klaidų skaitymas. Iškeltas tikslas patikrinti ir sulyginti failų struktūrą, naudojantis „WinOLS“ programinę įrangą, o atlikus tai, pastebėta, jog po nestabilios įtampos programavimo metu, variklio valdymo blokas iškraipo kontrolinę sumą.

Atlikti bandymai, kurių metu nustatyta, jog *kontrolinės sumos* šiame variklio valdymo bloke sugadinta dėl nestabilios įtampos. Naudojamas K-Line duomenų perdavimo būdas, kuris skirtas lėtesniam duomenų perdavimui nei CAN komunikacijose. Galima teigti, jog K-Line komunikacijos metu, dėl nepastovios įtampos, netiksliai persiunčiamas duomenų paketas.

Bandymų metu nustatyta, kad programavimo įrenginys, fiksuojant staigų įtampos kritimą, nenutraukia surašymo, kol neperžengiama kritinė 5,88 V riba, tačiau netiksliai perduoda duomenų paketus. Tad galima teigti, jog kritinė riba, saugiausiam variklio valdymo bloko programavimui reikalinga 11,88 V. Nuo nustatytos ribos, programavimo įrenginys ir programavimo prietaisas gali patirti programines klaidas ir siunčiami signalai iškraipomi, *binariniai skaitmenys* pateikiami neteisingai, *kontrolinės sumos* sugadinamos. Programavimui, šis variklio valdymo blokas naudoja K-Line komunikaciją, o kompiuterinei diagnostikai CAN komunikaciją. Svarbu paminėti, jog esant skirtingiems variklio valdymo blokams ir skirtingiems komunikacijos protokolams, susiduriama su skirtingais gedimais antrinio tyrimo metu. Atliktuose tyrimuose, nustatyta, kad nors ir naudojami mikrovaldikliai tos pačios šeimos (EDC16C34 ir EDC16U31), tačiau abu VVB skirtingai reagavo į patiriamus programinius gedimus.

Atliekant tyrimą, buvo bandoma išprovokuoti EDC16C34 programinį gedimą, kas 2 s keliant įtampą nuo 6 V iki 12 V ir žeminant įtampą nuo 12 V iki 6 V. Pastebėta, jog programavimo įrenginys, atliekant duomenų paketo signalų siuntimą, naudojant K-Line, grįžta į klaidingai perduotą duomenų paketo signalų siuntimo vietą ir ją pakartoja. Remiantis tuo, galima teigti, programiniai sutrikimai galimi tik tada, kai programavimo įrenginys neužfiksuoja realiu laiku įvykusios programinės klaidos ir nenutraukia komunikacijos su VVB.



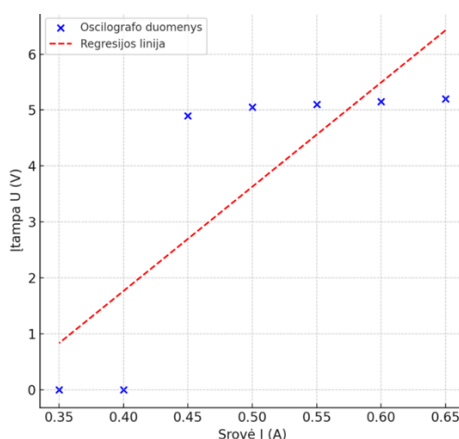
9 pav. Variklio valdymo blokas EDC16C34
Šaltinis: nuotrauka autorių

Minimalios reikalingos VVB diagnostikai atlikti maitinimo įtampos eksperimentinis tyrimas. Naudotos priemonės: Autel MX808 diagnostikos įrenginys, maitinimo blokas su įtampos ir srovės reguliavimu, oscilografas.

VVB komunikacijos su Autel diagnostiniu įrenginiu, esant skirtingoms įtampos reikšmėms, bandymų reikšmės

Oscilografo parodymai: srovė I_o , A	Oscilografo parodymai: įtampa U_o , V	Autel diagnostinio įrenginio parodymai: įtampa U_A , V	Komunikacijos būklė
0,65	5,20	5,20	Yra komunikacija su įrenginiu
0,6	5,15	5,15	
0,55	5,10	5,10	
0,5	5,05	5,05	
0,45	4,9	4,9	
0,4	0	0	Prarasta komunikacija su įrenginiu
0,35	0	0	

Variklio valdymo blokui EDC16C34 buvo atlikti 9 bandymų, kurių metu, nustatyta minimalūs įtampos, reikalingi komunikacijai su diagnostiniu įrenginiu parosmetrų parodymai pateikti 1 lentelėje.



10 pav. VVB EDC16C34 įtampos priklausomybės nuo srovės grafikas pagal oscilografo parodymus

Šaltinis: sudaryta autorių

Lygiagrečiai atlikti įtampos ir srovės matavimai su oscilografu. Bandymų metu nustatytas VVB minimalus bendras įtampos ir srovės kiekis reikalingas komunikacijai tarp įrenginių.

Nustatomas minimalus reikalingos įtampos variklio valdymo bloko diagnostikai atlikti. Autel diagnostinio įrenginio ir valdymo bloko komunikacijos praradimas, atliekant diagnostiką, dėl maitinimo įtampos matuojant oscilografu pateiktas 1 lentelėje. Svarbu paminėti, jog esant įtampai 5,05 V ir 0,5 A srovei, programavimo įrenginys negali išskaityti duomenų iš variklio valdymo. Nustatyta, kad 6 V įtampos ir 0,310 A srovės yra minimalus kiekis, siekiant išskaityti variklio valdymo bloke saugomus duomenis. Variklio valdymo bloko EDC16C34 testavimo metu gautų įtampos priklausomybės nuo srovės grafikas parodytas 10 paveiksle.

Įtampos svyravimų poveikio VVB efektyvumui ir gedimų dažniui matematinis modelis

Regresijos modelis. Ryšiui tarp srovės ir įtampos sudaroma lygtis, leidžianti prognozuoti įtampos kitimą esant tam tikrai srovei, kai jų tarpusavio priklausomybė yra tiesinė ir leidžia prognozuoti, kokia bus įtampa U bei nustatyti, kokių momentu sistema praranda komunikaciją su diagnostiniu įrenginiu. Tai:

$$U = I \cdot a + b, \quad (1)$$

čia: U – įtampa (V), matuojama oscilografu ar diagnostiniu įrenginiu, I – srovė (A), matuojama įvairiose diagnostinėse situacijose, a – proporcingumo koeficientas, rodantis, kaip greitai įtampa U keičiasi kintant srovei I , b – koeficientas, rodantis įtampos reikšmę, kai srovė $I=0$.

Pagal 1 lentelės duomenis nubraižomas oscilografo parodymų įtampos priklausomybės nuo srovės grafikas parodytas 10 paveiksle ir sudaromos I_o , (A) ir U_o , (V) statistinės eilutės:

$$I = [0,65, 0,6, 0,55, 0,5, 0,45, 0,4, 0,35],$$

$$U = [5,2, 5,15, 5,1, 5,05, 4,9, 0, 0].$$

Nustatomi įtampos ir srovės vidurkiai:

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i}{n} = \frac{5,2+5,15+5,1+5,05+4,9+0+0}{7} = 3,63 \text{ V},$$

$$\bar{I} = \frac{\sum I_i}{n} = \frac{0,65+0,6+0,55+0,5+0,45+0,4+0,35}{7} = 0,5 \text{ A}.$$

Kovariacija:

$$C_{OV}(I, U) = \frac{\sum(I_i - \bar{I})(U_i - \bar{U})}{n} = \frac{(0,65-0,5)(5,2-3,63)+\dots+(0,35-0,5)(0-3,63)}{7} = 0,186. \quad (2)$$

Apskaičiuojama įtampos dispersija:

$$V_{ar}(I) = \frac{\sum(I_i - \bar{I})^2}{n} = \frac{(0,65-0,5)^2+\dots+(0,35-0,5)^2}{7} = 0,01. \quad (3)$$

Proporcingumo koeficientas a :

$$a = \frac{C_{OV}(I, U)}{V_{ar}(I)} = \frac{\sum(I_i - \bar{I})(U_i - \bar{U})}{\sum(I_i - \bar{I})^2} = \frac{0,7661}{0,01375} \approx 18,64. \quad (4)$$

Koeficientas b :

$$b = \bar{U} - a\bar{I} = 3,0585 - 18,64 \cdot 0,5 = -5,69. \quad (5)$$

Remiantis šiais duomenimis, galime formuluoti regresijos lygtį:

$$U = 18,64I - 5,69.$$

Kritinė įtampos riba, kai gali būti prarandama komunikacija su diagnostiniu įrenginiu, yra 5,05 V, kai įtampos kritimas iki šios reikšmės ar žemiau gali sukelti duomenų praradimą ar ryšio nutrūkimą. Proporcingumo koeficientas a , kuris yra apie 18,64, rodo, kaip greitai keičiasi įtampa keičiant srovę, ir yra svarbus nustatant įtampos reikšmę esant tam tikrai srovei.

Koreliacijos tarp įtampos ir VVB komunikacijos su diagnostiniu įrenginio analizė. Pagal koreliacijos formulę, nustatoma koreliacija tarp įtampos ir VVB komunikacijos su diagnostiniu įrenginiu:

$$r = \frac{n(\sum UY) - (\sum U)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum U^2 - (\sum U)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} = 0,812. \quad (6)$$

čia: $Y=0$ – yra komunikacija su ECU (veikia normaliai); $Y=1$ – nėra komunikacijos su VVB (sutrikęs veikimas).

Koreliacijos koeficientas r rodo stiprų teigiamą ryšį tarp įtampos ir komunikacijos stabilumo. Tai reiškia, kad didėjant įtampai, ryšys su diagnostiniu įrenginiu išlieka stabilus, o mažėjant įtampai – didėja ryšio praradimo tikimybė. Šis rezultatas patvirtina, kad, esant įtampai žemiau 5,05 V, ryšys su variklio valdymo bloku (VVB) nutrūksta, o veikimo sutrikimų tikimybė ženkliai išauga. Tai pagrindžia hipotezę apie įtampos stabilumo svarbą diagnostikos ir programavimo metu. Jei diagnostikos ar programavimo metu įtampa yra nestabili, gali kilti duomenų siuntimo klaidų, netiksliai įrašoma informacija į VVB ar net prarandama komunikacija. Siekiant išvengti ryšio praradimo, būtina užtikrinti, kad įtampa nenukristų žemiau 5,05 V ribos.

Logistinės regresijos analizė leidžia apskaičiuoti tikimybę kad sutrikimai pasireikš, priklausomai nuo įtampos U . Tikimybė apskaičiuojama pagal formulę:

$$P(Y = 1|U) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 - \beta_i U)}} \quad (6)$$

čia: β_0 ir β_i yra modelio apskaičiuoti koeficientai ($\beta_0 = -15,7$, o $\beta_i = 3,2$), e - yra natūrinis logaritmas (Eulerio skaičius, $e \approx 2,718$).

Naudojame lygtį (6), kad apskaičiuotume tikimybę įvairioms įtampos reikšmėms gauname, kad:

- kai įtampa $U=5,20$, tikimybė, kad pasireikš sutrikimai, yra beveik nulinė $P \approx 0,000002$
- kai įtampa $U=4,90$ V, tikimybė, kad atsirastų sutrikimai, yra didelė $P \approx 0,96$.
- kai $U=0,00$ V, tikimybė pasiekia 100% $P=1,0$.

Logistinės regresijos modelis parodė, kad sutrikimų tikimybė yra labai jautri įtampos svyravimams. Kai įtampa mažėja žemiau 5 V, tikimybė prarasti ryšį arba patirti sutrikimų sparčiai didėja. Tad patvirtinama hipotezė, kad nestabili įtampa diagnostikos ir programavimo metu daro reikšmingą įtaką VVB veikimui ir komunikacijai.

Buvo nustatyta, kad stabilus įtampos lygis yra būtinas efektyviam VVB veikimui, siekiant išvengti veikimo sutrikimų ar gedimų. Minimalus slenkstis, esantis apie 5,05 V, yra kritinė riba, žemiau kurios tikimybė prarasti ryšį arba sutrikdyti VVB veikimą sparčiai didėja. Įtampos nestabilumai sukelia duomenų perdavimo klaidas, ryšio praradimą ir neteisingus kontrolinių sumų fiksavimus, kurie yra būtini užtikrinant duomenų vientisumą.

VVB efektyvumo ir gedimų dažnio prognozavimo modelis. Šis modelis apima įtampos, gedimų dažnio ir efektyvumo modelius, kurių koeficientai buvo nustatyti ankstesnėse analizėse ir per šiuos simuliuotus eksperimentus.

Gedimų dažnio modelis apibūdinamas lygtimi:

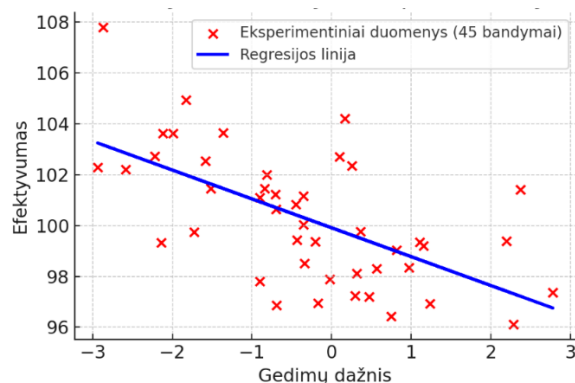
$$D = -3 + 0,5U + 1,2I + 0,05T + \epsilon_d, \quad (7)$$

čia T – temperatūra, ϵ_d yra atsitiktinė klaida, įtraukta į modelį siekiant atspindėti atsitiktinius matavimo netikslumus ar kitus nežinomus veiksnius.

Efektyvumo modelis išreiškiamas formule:

$$E = 45 - 1D - 0,5t + 0,05\Delta U + \epsilon_d, \quad (8)$$

čia t – laikas.

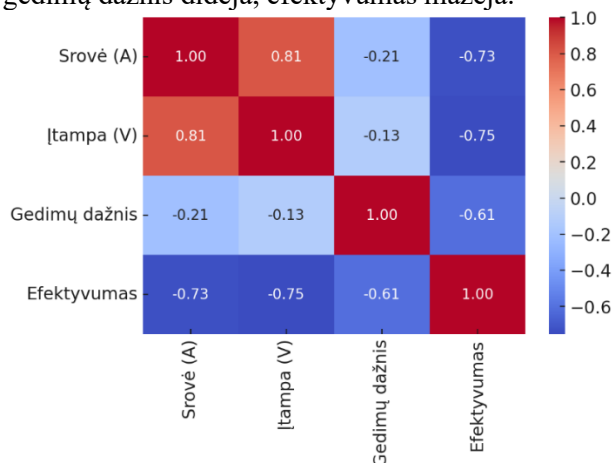


11 pav. Variklio valdymo bloko gedimų dažnio įtaka efektyvumui grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

Efektyvumo priklausomybė nuo gedimų dažnio grafikas (11 pav.) parodo, kad efektyvumas mažėja, kai gedimų dažnis didėja. Padidėjęs gedimų skaičius gali pakenkti variklio valdymo bloko veikimo efektyvumui, todėl gali kilti didesnės operacinės išlaidos ir sumažėti bendras sistemos patikimumas. Vidutinis efektyvumas šiame grafike yra 97,12, ir parodo, kad nepaisant kai kurių gedimų, sistema išlieka pakankamai efektyvi.

Atlikti eksperimentiniai tyrimai ir matematinis modeliavimas patvirtino hipotezę, kad nestabili įtampa diagnostikos ir programavimo metu turi reikšmingą poveikį variklio valdymo bloko veikimui. Sumažėjus įtampai žemiau kritinių ribų (CAN – 11,88 V, K-Line – 5,88 V), ženkliai padidėja duomenų siuntimo klaidų skaičius, išauga neteisingai įrašytų duomenų tikimybė, o ryšio su diagnostikos įranga praradimas pasiekia 96 % tikimybę esant 4,90 V įtampai.

Sudaryta koreliacijų matrica (12 pav.), kuri vizualizuoja ryšius tarp visų kintamųjų ir padeda optimizuoti priežiūros strategijas, nustatant, kurių rodiklių stebėjimas yra svarbiausias. Paveiksle 12 mažėjanti įtampa mažina efektyvumą, nes kai gedimų dažnis didėja, efektyvumas mažėja.



12 pav. Koreliacinės matricos „šiluminis“ žemėlapis
Šaltinis: sudaryta autorių

Ši matrica padeda nustatyti, kurių rodiklių stebėjimas yra svarbiausias. Pavyzdžiui, kadangi stiprus ryšys tarp įtampos stabilumo ir efektyvumo, būtina skirti daugiau dėmesio įtampos svyravimų kontrolei programavimo ir diagnostikos metu, ir taip optimizuoti automobilių priežiūros strategijas servisuose.

Diskusija. Atliktas tyrimas orientuotas į programavimo metu atsirandančius gedimus, tačiau ateityje būtų naudinga nagrinėti ilgalaikį įtampos svyravimų poveikį VVB komponentų patikimumui, pavyzdžiui, atminties nusidėvėjimui it t.t. Taip pat ateityje verta nagrinėti atsarginių energijos šaltinių integraciją transporto priemonėse. Pavyzdžiui energijos atkūrimo sistemos KERS (*angl. Kinetic Energy Recovery System*) – nors dažniausiai naudojamos sportiniuose ar hibridiniuose automobiliuose, jos gali būti pritaikytos stabilizuoti diagnostikos bei programavimo metu naudojamą įtampą.

Išvados ir rekomendacijos

1. Atlikta VVB struktūros ir veikimo analizė parodė, kad gedimai dažniausiai kyla dėl neteisingai įrašytų duomenų, kontrolinės sumos klaidų bei ryšio sutrikimų tarp diagnostikos įrangos ir bloko. CAN ir K-Line komunikacijos protokolų analizė leido nustatyti įtampos ribas, kurias užtikrina stabilų veikimą.

2. Eksperimentiniai tyrimai patvirtino, kad įtampos nestabilumas diagnostikos ir programavimo metu gali sukelti komunikacijos sutrikimus ir programinius gedimus. Nustatyta, kad jei įtampa CAN tinkle nukrenta žemiau 11,88 V, o K-Line – žemiau 5,88 V, tikimybė prarasti ryšį su VVB išauga iki 96 %.

3. Sukurtas matematinis modelis leidžia prognozuoti VVB gedimų dažnį esant skirtingoms įtampos sąlygoms. Yrmo rezultatai parodė, kad esant 5,20 V įtampai, gedimų dažnis yra minimalus (0,02 gedimo per 1000 ciklų). Tačiau sumažėjus įtampai iki 4,90 V, gedimų dažnis padidėja iki 24,3 gedimų per 1000 ciklų. Esant 0,00 V, sistema visiškai nustoja veikti, nes gedimų dažnis pasiekia 100 per 1000 ciklų. Eksponentinė priklausomybė tarp įtampos ir gedimų dažnio rodo, kad mažėjant įtampai žemiau kritinės ribos (CAN – 11,88 V, K-Line – 5,88 V), ryšio praradimo ir duomenų iškraipymo tikimybė drastiškai didėja. Šie duomenys gali būti naudojami diagnostikos procesų optimizavimui, įtampos stabilizavimo sprendimų kūrimui ir VVB patikimumo gerinimui, siekiant sumažinti programavimo ir diagnostikos klaidas bei padidinti transporto priemonės elektronikos ilgaamžiškumą. Koreliacijų matrica (12 pav.) leidžia optimizuoti priežiūros strategijas, nustatant svarbiausius rodiklius ir patvirtina, kad mažėjanti įtampa mažina sistemos efektyvumą – kai gedimų dažnis didėja, efektyvumas mažėja, t.y. norint optimizuoti diagnostikos procesus, būtina nuolat stebėti įtampos pokyčius.

Rekomendacijos Remiantis tyrimo rezultatais, rekomenduojama diegti išplėstines įtampos stebėsenos ir reguliavimo sistemas, kurios galėtų sumažinti gedimų dažnį, užtikrinant stabilų įtampos lygį per visą VVB eksploatavimo laikotarpį.

Literatūra

1. Gritsenko, A., Shepelev, V., Zadorozhnaya, E., & Shubenkova, K. 2020. Test Diagnostics of Engine Systems in Passenger Cars. *FME Transactions*, p. 48.
2. Hatch, Steve V. 2012. Kompiuterizuotas variklių valdymas. Kaunas: „Smaltijos“ leidykla, pp. 43-54. ISBN 978-9955-707-86-8.
3. Ivanov, D. ir Smith, J. (2019). 'Impact of Functional Testing on ECU Reliability', *Journal of Automotive Electronics*, 47(2), pp. 122–134. DOI: 10.1016/j.jae.2019.02.005.
4. Johnson, R. ir Peters, L. 2017. 'Common Failures in Engine Control Units', *Automotive Engineering*, 29(3), pp. 45–50. DOI: 10.1080/026501017.000000123.
5. Payne, B. R. 2019. Car hacking: Accessing and exploiting the can bus protocol. *Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice*, 2019 (1), p. 5. DOI: [10.62915/2472-2707.1045](https://doi.org/10.62915/2472-2707.1045).
6. Rahman, S., Zhou, Y., ir Li, W. 2021. 'Artificial Intelligence in Automotive Diagnostics', *International Journal of Intelligent Systems*, 36(5), pp. 2231–2248. DOI: 10.1002/int.2248.
7. Reading OBD2 data without ELM327, part 2 – K-Line. © 2024 GitHub, Inc. [Žiūrėta 2024-11-04]. Prieiga per internetą: <https://obd2-data.html>.
8. Rimpas, D., Papadakis, A., & Samarakou, M. 2020. OBD-II sensor diagnostics for monitoring vehicle operation and consumption. *Energy Reports*, 6, pp. 55-63.
9. Saibannavar, D., Math, M. M., & Kulkarni, U. 2021. A survey on on-board diagnostic in vehicles. In *International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics: ICMCSI 2020*, pp. 49-60. Springer International Publishing.
10. Saleh, A. H., & Mohammed, M. S. 2024. Enhancing Data Security through Hybrid Error Detection: Combining Cyclic Redundancy Check (CRC) and Checksum Techniques. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 12(3), pp. 813-826.
11. Shu, X., Guo, Y., Yang, H., & Wei, K. 2021. Reliability study of motor controller in electric vehicle by the approach of fault tree analysis. *Engineering Failure Analysis*, p. 121, 105165.

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY AND FAILURE RATE OF A PROGRAMMABLE AUTOMOTIVE ENGINE CONTROL UNIT UNDER VOLTAGE FLUCTUATIONS

Summary

Unstable voltage during diagnostics or programming can cause connection loss, data writing errors, and incorrect checksum calculations, increasing the failure rate of the engine control unit (ECU). The aim of this study is to develop a mathematical model to predict the failure rate of EDC16 engine control units and their diagnostic reliability under voltage fluctuations. It was found that when the voltage drops below CAN – 11.88 V, K-Line – 5.88 V, the probability of connection loss increases to 96%, and at 4.90 V, the failure rate reaches 24.3 per 1000 cycles. The developed mathematical model confirms a strong correlation between voltage stability and ECU performance efficiency. The logistic regression model indicates that when the voltage drops below 5.05 V, the probability of connection loss becomes significantly high. The findings of this study can be applied to optimize diagnostic processes and enhance the reliability of automotive electronic systems.

ŠERKŠNO FORMAVIMOSI PARAMETRŲ TYRIMAS NAUDOJANT AUTOMATINĘ PAPILDOMĄ AUTOMOBILIO VEIDRODĖLIŲ VALDYMO SISTEMĄ

Lukas Brazys, Rasa Žygienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Straipsnyje nagrinėjama šerkšno formavimosi procesas ant automobilio veidrodėlių. Sukurta sistema matuoja temperatūrą ir drėgmę, siekiant apsaugoti veidrodėlių variklius nuo užšalimo ir sugadinimo eksploatacijos metu. Teorinis modelis, grindžiamas šerkšno kaupimosi dėsniniais, palygintas su eksperimentiniais duomenimis, gautais naudojant temperatūros ir drėgmės jutiklius. Pagrindiniai rezultatai rodo, kad teorinis modelis pakankamai gerai atspindi realius duomenis, tačiau reikalingas tobulinimas atsižvelgiant į aplinkos veiksnius, tokius kaip vėjas ir paviršiaus savybės. Eksperimentiniai duomenys parodė 1,2 g šerkšno masę po 3600 sekundžių, kai teorinis modelis prognozavo 0,95 g.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Veidrodėlių valdymo sistema, temperatūra, drėgmė, apsauga, šerkšnas:

Išvadas

Daugelis automobilių turi automobilio veidrodėlių valdymo sistemas. Ši sistema yra ganėtinai patogi bei apsaugo automobilio veidrodėlius nuo apibraižymų ir kitokių pažeidimų.

Straipsnyje (Olsson, 2011) nagrinėjama kaip šoniniai automobilio veidrodėliai prisideda prie automobilio aerodinaminio pasipriešinimo. Nustatyta, kad automobilio šoniniai veidrodėliai aerodinaminį pasipriešinimą padidina 2-7 proc..

Vėjo sukeliamas triukšmas (Kucukcoskun et al, 2016: 3306-3316) yra vienas iš dominuojančių triukšmo šaltinių, kuris gerai girdisi automobilio salone, važiuojant didesniu greičiu. Vienas iš pagrindinių vėjo sukeliama triukšmo veiksnių yra šoniniai automobilio veidrodėliai. Tad norint užtikrinti kuo mažesnę vėjo sukeliama triukšmo lygį automobilio šoninių veidrodėlių modeliavimas pradedamas ankstyvoje transporto priemonės stadijoje.

Automobilio šoniniai veidrodėliai yra svarbus saugaus vairavimo elementas. Jie leidžia vairuotojui matyti kitus eismo dalyvius, esančius automobilio išorėje. Tačiau šoniniai veidrodėliai turi akląją matymo zoną. Stebėdami pro šoninį automobilio veidrodėlį šalia judantį kitą automobilį, vairuotojai susiduria su problema, kai jis nepastebimas, o tai sukelia eismo įvykius. Straipsnyje (Kuwana ir Itoh, 2008: 2913-2918) apžvelgiama, kaip DAMS ir EDAMS sistemos sumažina aklosios zonos kampą. DAMS sistema nukreipia veidrodėlio stiklą į transporto priemonę, kuri įvažiuoja į akląją zoną. EDAMS sistema, ji nukreipia šoninio veidrodėlio stiklą į transporto priemonę ir įjungia lemputę, kad įspėtų vairuotoją, jog veidrodėlio stiklas buvo pakreiptas.

Yingying ir kiti (2017) teigia, kad automobilio išorinių veidrodėlių montavimo vieta turi įtakos matymo laukui. Norint užtikrinti gerą matomumą, išorinių veidrodėlių padėtis nustatoma pagal ergonomiką. Automobilio šoniniai veidrodėliai veikia fotoaparato principu ir naudoja skaitmenines technologijas. Skaitmeninės technologijos suteikia platesnį matymo lauką. Schkreba ir kiti (2021) atliktame tyrime dalyvavo penkiolika patyrusių vairuotojų, kurie naudodamiesi skaitmeniniais ir įprastais šoniniais veidrodėliais atliko įvairias orientavimosi užduotis. Nors tyrimas parodė, jog vairuotojai naudodamiesi skaitmeniniais veidrodėliais reagavo greičiau, bet dauguma vairuotojų teigė, kad įprasti šoniniai veidrodėliai jiems labiau priimtini. Tai rodo, kad ne vien tik technologiniai pranašumai lemia vartotojų pasirinkimą, bet ir psichologinis komfortas bei priimtinumas.

Straipsnyje (Smith ir Johnson, 2013: 89-95) nagrinėjama, kaip šerkšnas veikia automobilių sistemas, ypač jų paviršius, tokius kaip veidrodžiai. Autoriai nurodo, kad šerkšnas gali paveikti vairuotojo matomumą ir kelti pavojų saugumui, nes jis gali apriboti šoninių veidrodžių veikimą. Be to, straipsnyje pateikiama analizė, kaip automobilių konstrukcijos turi būti pritaikytos šerkšno kaupimosi mažinimui ir kokie techniniai sprendimai gali padėti kovoti su šiuo procesu. Straipsnyje taip pat pabrėžiama, kad šerkšnas ant veidrodžių atsiranda greičiau, kai yra aukštas drėgmės lygis ir žema temperatūra.

Lawrence (2005) savo straipsnyje aptaria drėgmės ir rasos taško temperatūros ryšys, o tai yra esminis aspektas šerkšno kaupimosi modeliavimui. Drėgmė yra vienas iš svarbiausių faktorių, turinčių įtakos šerkšno susidarymui. Kuo didesnė drėgmė, tuo greičiau susidaro šerkšnas, kadangi didėja vandens garų koncentracija ore. Formulė tikslinga šerkšno kaupimosi modelio tikslumui užtikrinti, nes galima taikyti drėgmės skaičiavimui, ypač esant žemai temperatūrai, kuri paprastai būna žiemos sezono metu, kai šerkšnas kaupiasi ant automobilių veidrodžių paviršiaus. Šalto oro ir aukštos drėgmės sąlygos (Lowe, 1977: 212-220), sudaro palankias sąlygas šerkšno susidarymui ant paviršių. Autorius pabrėžia, kad šerkšnas susidaro tada, kai drėgmė yra didelė ir temperatūra nukrinta žemiau nulio. Šis tyrimas padeda pagrįsti modelio formules ir patvirtina, kad žemesnė temperatūra ir aukštesnė drėgmė padidina šerkšno susidarymo greitį.

Žiemos sezonu daugelis judančių mechanizmų, esančių automobilio išorėje sunkiau funkcionuoja. Esant žemai aplinkos temperatūrai, dėl judančių detalių stingimo, varikliams tenka įveikti didesnę pasipriešinimą, bandant pakreipti ar atlenkti veidrodžius. Tai didina jų apkrovą, o pastaroji ilgainiui gali nulemti greitesnę dėvėjimąsi, tarnavimo laiko trumpėjimą, atsitiktinius gedimus ar net visišką mechanizmo pažeidimą. Žiemos oro sąlygos, įskaitant sniegą, šaltį ir ledą, yra susijusios su dideliu eismo įvykių ir avarijų skaičiumi. Kai automobilių stiklai ir veidrodėliai, padengti šerkšnu ar ledu, gali smarkiai pabloginti vairuotojo matomumą, dėl ko žymiai išauga avarijų rizika ir net eismo avarijos su mirtinomis pasekmėmis. Todėl šerkšno tyrimai bei sistemos, informuojančios apie galimus veidrodėlio užšalimus bei užtikrinančios automobilių šoninių veidrodėlių apsaugą nuo šerkšno, yra svarbios, norint pailginti veidrodėlių variklių tarnavimo laiką ir išlaikyti jų tinkamą funkcionavimą. Šių technologijų tobulinimas ir taikymas neabejotinai prisidės prie eismo saugumo didinimo, eismo įvykių skaičių ir padarinių esant ekstremalioms oro sąlygoms mažinimo. *Taigi kyla problema* kokios priemonės ir metodai leistų nustatyti šerkšno susidarymą ant automobilio veidrodėlių bei prailgintų veidrodėlių variklių tarnavimo laiką ir tinkamą funkcionavimą?

Tyrimo tikslas: ištirti šerkšno susidarymo ant automobilio veidrodėlių dinamiką realiomis sąlygomis, naudojant sukurta papildomą automobilio veidrodėlių valdymo sistemą, kuri matuos aplinkos temperatūrą ir drėgmę, o gautus rezultatus palyginti su teoriniais.

Iškelta hipotezė, kad teorinio modelio prognozuojami rezultatai nesiskiria nuo eksperimentinių matavimų rezultatų.

Tyrimo metodai: literatūros analizė, skaitiniai metodai, kompiuterinis modeliavimas ir eksperimentiniai bandymai, siekiant įvertinti šerkšno formavimosi dinamiką.

Straipsnį sudaro dvi dalys. Pirmoje dalyje aprašomas eksperimentiniam tyrimui kuriamos automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos techninės savybės ir funkcijos, atliekamas palyginimas su rinkoje esančiomis sistemomis, nustatomi jų privalumai ir trūkumai. Antroje – aprašomas šerkšno kaupimosi greičio nustatymo matematinis modelis bei atliekamas šerkšno kaupimosi ant automobilio veidrodėlių eksperimentas realiomis sąlygomis, o gauti rezultatai palyginami su matematinio modelio rezultatais.

Automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos projektavimas

Nustatytos automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos: maitinimo įtampa – 12 V DC; drėgmės nustatymo funkcija (matuos drėgmę nuo 0 % iki 90 % RH), temperatūros nustatymo funkcija (matuos temperatūrą nuo -30 °C iki 40 °C), vaizdinė indikacija, kuri informuos vairuotoją apie sistemos įjungimą), valdymo bloko darbinė temperatūra nuo -40 °C iki 50 °C, sistemos įjungimas ir išjungimas. Šios funkcijos užtikrina, kad sistema būtų pritaikyta prie įvairių aplinkos sąlygų ir galėtų efektyviai veikti net ekstremaliomis temperatūromis.

Skirtingų automobilio veidrodėlių valdymo sistemų palyginimas pagal numatytas technines charakteristikas ir funkcijas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė

Skirtingų automobilių veidrodėlių valdymo sistemos pagal technines charakteristikas ir funkcijas

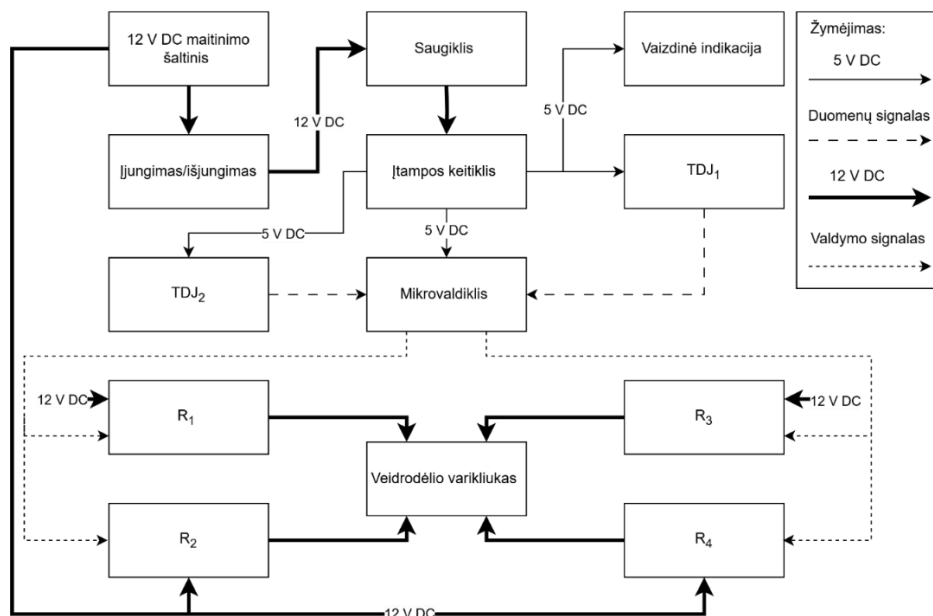
Techninės charakteristikos ir funkcijos \ Automobilio modelio pavadinimas	Mercedes-Benz E220 (2010 m.) [6]	BMW E60 (2006 m.) [7]	Audi A4 B9 (2016) [1]
12 V DC maitinimo įtampa	+	+	+
Drėgmės nustatymo funkcija	-	-	-
Temperatūros nustatymo funkcija	-	-	-
Vaizdinė indikacija	-	-	-
Įjungimas/išjungimas	+	+	+

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus analoginių sistemų lyginamąją analizę nustatyta, kad visos automobilio veidrodėlių valdymo sistemos tarpusavyje yra labai panašios. Tačiau skiriasi nuo projektuojamos automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos ir neatitinka visų projektuojamos sistemos techninių charakteristikų (1 lentelė).

Visos analoginės sistemos naudoja 12 V DC maitinimo įtampa ir gali būti įjungiamos ir išjungiamos. Tačiau nei viena iš palygintų automobilio veidrodėlių valdymo sistemų neturi vaizdinės indikacijos nurodančios, kad sistema yra aktyvuota ir taip pat neturi temperatūros ir drėgmės nustatymo funkcijos, tad analoginės sistemos negali stebėti aplinkos temperatūros ir drėgmės.

Nors visos šios palygintos automobilio veidrodėlių valdymo sistemos gali apsaugoti automobilio veidrodėlius nuo apibraižymų ir kitokių pažeidimų, bet neapsaugoja automobilio veidrodėlių variklių nuo pažeidimų žiemos metu.



1 pav. Automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos struktūrinė schema: R_i - relė, TDJ_i - temperatūros ir drėgmės jutiklis
Šaltinis: sudaryta autorių

Automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistemos struktūrinė schema pateikta 1 paveikslėlyje. Pagal pateiktą schemą sukurta automobilio veidrodėlių papildomos automatinės valdymo sistema eksperimentiniam šerkšno formavimosi tyrimui. Prototipas išbandytas kontroliuojamomis laboratorinėmis sąlygomis, siekiant patikrinti jo veikimo efektyvumą ir atsparumą įvairioms aplinkos sąlygoms. Bandymai apėmė temperatūros ir drėgmės jutiklių atsako testavimą, taip pat sistemos energijos suvartojimo efektyvumą. Nustatyta, kad sistema matuoja aplinkos temperatūrą ir drėgmę, o šie parametrai yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys šerkšno susidarymą.

Šerkšno formavimosi greičio ant automobilio šoninių veidrodėlių tyrimas

Šerkšno formavimosi greičio nustatymo matematinis modelis. Nustatant šerkšno kiekį, susikaupusį ant automobilio veidrodžių, panaudoti matematiniai modeliai ir eksperimentiniai matavimai.

Šerkšno kaupimosi greitis priklauso nuo drėgmės, temperatūros ir laiko:

$$\frac{dW}{dt} = \alpha \cdot RH^n \cdot e^{-b/T}, \quad (1)$$

čia: $\frac{dW}{dt}$ - šerkšno kaupimosi greitis laiko atžvilgiu (g/min), α - koeficientas, kuris apibrėžia, kaip relatyvi drėgmė prisideda prie kaupimosi, RH^n - drėgmės poveikis laipsniais, $e^{-b/T}$ - termodinaminis faktorius, kuris atspindi temperatūros poveikį šerkšno kaupimuisi (kuo žemesnė temperatūra, tuo didesnis kaupimasis).

Modeliui nustatomos pradinės sąlygos:

$$W(0) = W_0, \quad (2)$$

čia: W_0 - pradinė šerkšno masė ant veidrodžio paviršiaus (g).

Norint rasti šerkšno kiekį bet kuriuo laiko momentu:

$$W(t) = W_0 + \int_0^t \alpha \cdot RH^n \cdot e^{-b/T} dt. \quad (3)$$

Modelio tikslumui užtikrinti ir atlikus eksperimentus, remiantis realiais matavimais, nustatyti koeficientai α , b . Daroma prielaida, kad drėgmės ir temperatūros pokyčiai yra pagrindiniai veiksniai. Ši

diferencialinė formulė apima pagrindinius veiksnius, tokius kaip temperatūra ir drėgmė. Tai leidžia lengvai suprasti ir naudoti modelį šerkšno kaupimosi prognozėms.

Šerkšnas susidaro, kai paviršiaus temperatūra nukrenta žemiau rasos taško (*angl. dew point temperature*) ir yra pakankamai drėgmės aplinkoje. Rasos taško temperatūra (°C) gali būti apskaičiuojama naudojant šią lygtį (Lowe, 1977):

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}, \quad (4)$$

čia: $\alpha(T, RH) = \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{a \cdot T}{b + T}$, o $a = 17,27$, $b = 237,7$ – konstantos (Lawrence, 2005).

Rasos taškas užtikrina, kad lygtis būtų taikoma tik tomis sąlygomis, kurios leidžia šerkšniui formuotis.

Jeigu $T \geq T_d$, šerkšno kaupimosi greitis $\frac{dW}{dt} = 0$, tai $W(0) = W_0$.

Norint užtikrinti modelio tikslumą, būtina atlikti eksperimentinius matavimus, kurių metu būtų surinkti duomenys apie šerkšno kaupimosi greitį pagal temperatūrą ir drėgmę. Remiantis surinktais duomenimis, galima nustatyti empirinius koeficientus a ir b , naudodami regresijos metodus arba kitus statistinius metodus.

Kai paviršiaus temperatūra yra žemesnė už T_d , ant veidrodėlio paviršiaus pradeda formuotis šerkšnas. Šerkšnas susidaro per depozicijos procesą, kurio metu vandens garai iš oro tiesiogiai kondensuojasi į kietąją fazę ant šalto paviršiaus. Šerkšno kaupimosi greitis apskaičiuojamas stebint drėgmės tankio pokyčius ore per tam tikrą laiko tarpą. Drėgmės tankis, nustatomas naudojant drėgmės jutiklius, leidžia fiksuoti, kiek vandens garų kondensuojasi ant paviršiaus. Tai svarbu šerkšno kaupimosi procesui modeliuoti, nes didesnis drėgmės tankis aplinkoje greitina šerkšno susidarymą ant šaltų paviršių.

Vėjas sumažina paviršiaus temperatūrą ir drėgmės tankį aplink veidrodį. Šį poveikį galima įvertinti įtraukiant vėjo greičio korekcijos koeficientą β , kuris mažina šerkšno kaupimosi greitį:

$$\frac{dW}{dt} = \alpha \cdot RH^n \cdot e^{-b/T} \cdot \beta(v_v), \quad (5)$$

čia: $\beta(v_v)$ – koeficientas atsižvelgia į vėjo greičio v poveikį. Jei vėjas stiprus, $\beta(v_v)$ sumažina kaupimosi greitį:

$$\beta(v_v) = 1 - k_v(v_v), \quad (6)$$

čia: k_v – vėjo poveikio koeficientas.

Šerkšno masė $W(t)$:

$$W(t) = W_0 + \int_0^t \left[\alpha \cdot RH^n \cdot e^{-b/T} \cdot \beta(v_v) \right] dt. \quad (7)$$

Ši lygtis apjungia pagrindinius veiksnius, lemiančius šerkšno susidarymą, įskaitant, tačiau neįvertina automobilio judėjimo, kuris keičia aplinkos temperatūrą, drėgmę ir slėgį aplink veidrodėlius. Taip pat modelis neatsižvelgia į sniego ar ledo poveikį, kuris gali atsirasti kartu su šerkšnu, ir apsunkinti sistemos veikimą.

Šerkšno formavimosi ant automobilio veidrodėlių eksperimentas. Eksperimento metu matavimams naudoti du temperatūros ir drėgmės jutikliai DHT21. Aplinkos parametrų matavimams naudotas skaitmeninis temperatūros ir drėgmės matuoklis Uni-T A12T. Matuojant šerkšno kiekį naudotos skaitmeninės juvelyrinės svarstyklės. Prieš eksperimentą visi prietaisai kalibruoti ir suderinti tarpusavyje. Prieš matavimus jutikliai kalibruoti. Nustatyti jutiklių tikslumo parametrai: DHT21/AM2301 - temperatūros matavimo tikslumas: $\pm 0,5$ °C, drėgmės matavimo tikslumas: ± 2 % RH (nuo 20 % iki 80 % RH), o Uni-T A12T - temperatūros matavimo tikslumas: $\pm 0,8$ °C, drėgmės matavimo tikslumas: ± 5 % RH.

Eksperimentui automobilis Audi A4 B6 (2002 m.) šoninio veidrodžio paviršius sterilizuotas ir nuvalytas bei pritvirtinti jutikliai. Jutikliai tvirtinimai prie automobilio veidrodėlio kaip parodyta 2 paveiksle. Paruošiamieji darbai apėmė ir eksperimento aplinkos parinkimą, kur galima kruopščiai stebėti veidrodėlių būklę įvairiais meteorologiniais režimais. Eksperimentas atliktas lauko sąlygomis.

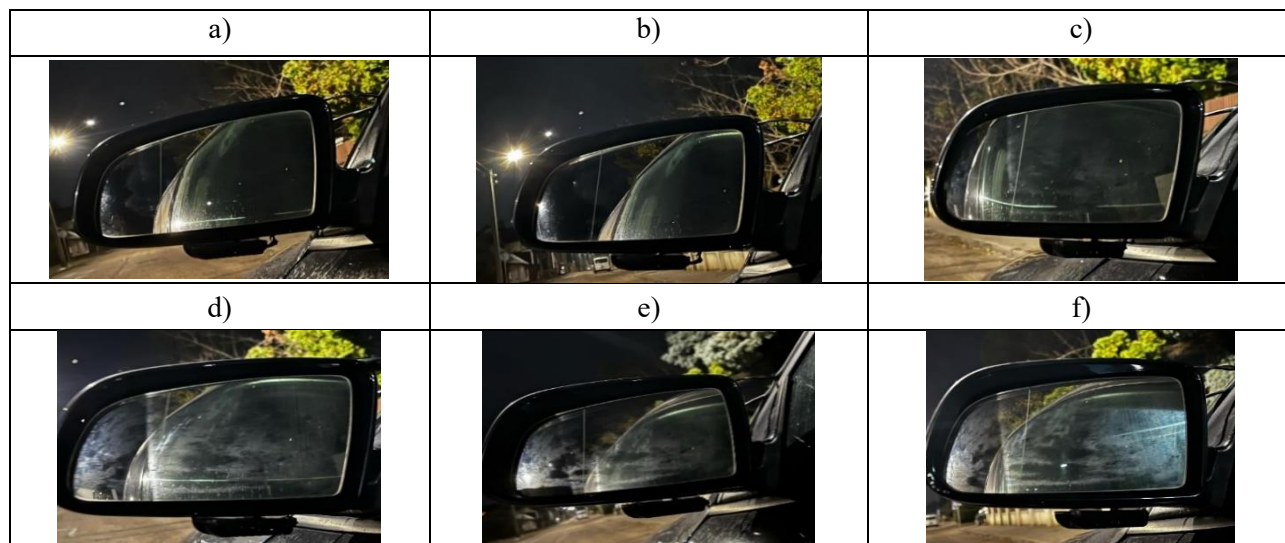


2 pav. Temperatūros ir drėgmės DHT21 jutiklių montavimo vietos veidrodėlio korpuso: 1 – apačioje, 2 – priekyje (prieš vėją)

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustatyti pradiniai parametrai: temperatūrą - 0,8 laipsnių Celsijaus ir drėgmę 81 % RH . Šerkšno kaupimosi procesas stebėtas 1 valandą. Stebėjimas ir temperatūros bei drėgmės fiksavimas vyksta kas nuolatos viso eksperimento metu.

Matavimų metu užfiksuota veidrodžių būklė kas 10 minučių pateikta 3 paveiksle ir 2 lentelėje.

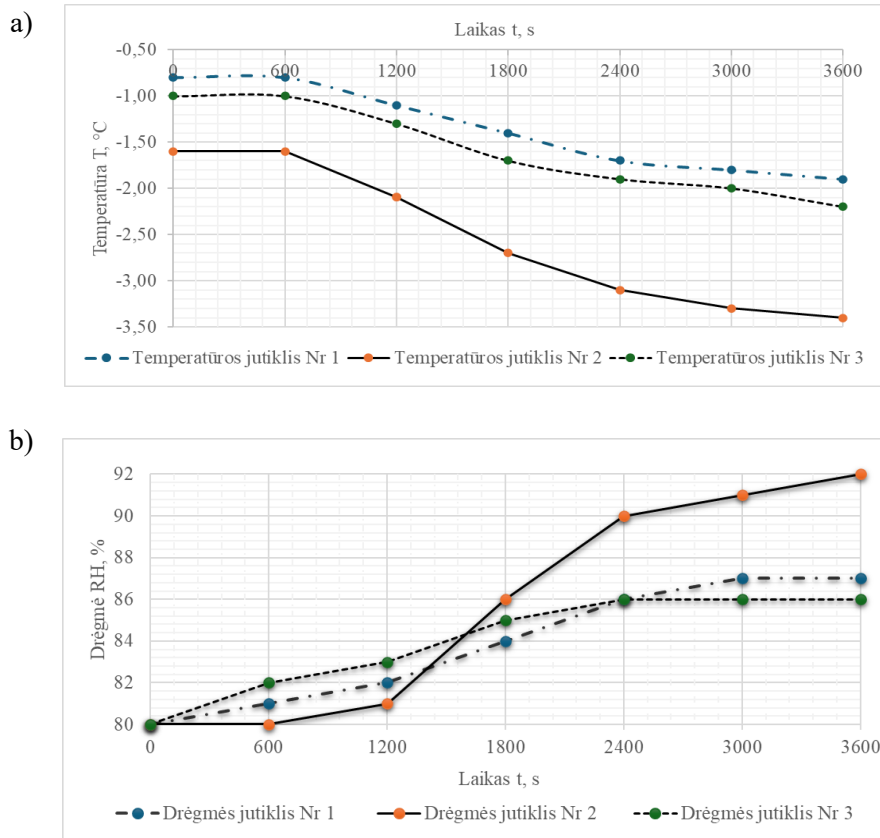


3 pav. Užfiksuota veidrodžių būklė po šerkšno matavimų kai t lygi: a) 10 min, b) 20 min, c) 30 min, d) 40 min, e) 50 min, f) 60 min

Šaltinis: sudaryta autorių

Po 1 valandos automobilio veidrodžių paviršius dalinai pasidengia plonu šerkšno sluoksniu. Skaitmeniniu svėrimo įrenginiu nustatoma šerkšno masė, atsargiai jį nuvalius nuo veidrodžio paviršiaus į švarią, tos pačios temperatūros kaip eksperimento aplinkos temperatūra, talpą.

Eksperimento metu gauti temperatūros ir drėgmės rezultatai pateikti 4 paveiksle.



4 pav. Eksperimento metu gauti rezultatai: a) temperatūros jutiklių, b) drėgmės jutiklių

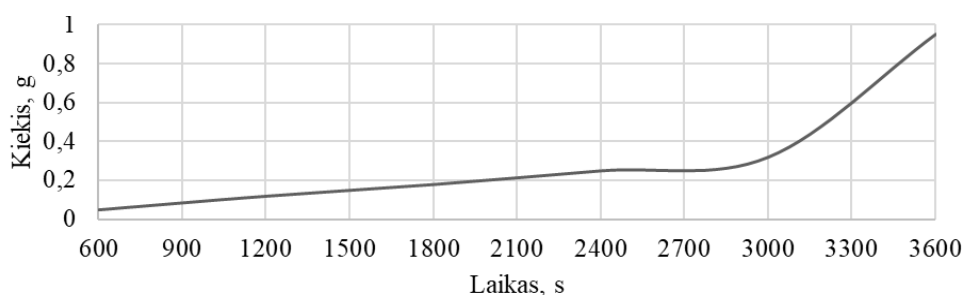
Šaltinis: sudaryta autorių

Pateiktose diagramose (4 pav.) parodyti trijų skirtingų temperatūros ir drėgmės jutiklių duomenys, fiksuoti per tam tikrą laiko tarpą $t = 3600$ sekundžių). Temperatūros ir drėgmės jutikliai rodo nuoseklų temperatūros mažėjimą ir drėgmės didėjimą laike.

Maksimali temperatūra (4 pav. a)) yra $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ užfiksuota Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3 jutiklių eksperimento pradžioje, tačiau pabaigoje temperatūros jau skiriasi. Temperatūros jutiklio Nr. 1 (mėlynas): kreivė yra gana stabili ir palaipsniui krentanti nuo maždaug $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūros jutiklio Nr. 2 (oranžinis) stebimas žymiai didesnis temperatūros kritimas, pradedant nuo maždaug $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir pasiekiant $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūros jutiklio Nr. 3 (žalias) kreivė panaši į jutiklio Nr. 1, temperatūros kreivę, kritimas nuo $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-1,75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paskaičiavus visų trijų jutiklių fiksuotus duomenis, vidutinė visų trijų jutiklių temperatūra yra $-1,58\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Maksimali drėgmė (4 pav. b)) užfiksuota antro drėgmės jutiklio. Tai atspindi šaltėjimo procesą, kuris vyksta eksperimentinėse sąlygose. Pagal drėgmės jutiklio Nr. 1 (mėlynas) duomenis drėgmės lygis didėja nuo 81 % iki 86 %, drėgmės jutiklio Nr. 2 (oranžinis) duomenis - drėgmės padidėjimas nuo 81 % iki 92 %, o pagal drėgmės jutiklio Nr. 3 (žalias) duomenis drėgmės lygis padidėja 7 %. Vidutinė drėgmė, apskaičiuota pagal gautus visų trijų jutiklių parodymus, yra 87 %.

Analizuojant duomenis eksperimento metu nustatyta, kad drėgmės padidėjimas yra tiesiogiai susijęs su temperatūros mažėjimu, taip pat pokyčiai rodo, kad dinamiškai kintantys aplinkos parametrai gali turėti lemiamos reikšmės šerkšno kaupimosi intensyvumui. Pakartotino eksperimento metu sukeitus vietomis 1 ir 2 jutiklių padėtis, rezultatų dinamika išliko identiška pirmajam bandymui. Apskaičiuotas šerkšno kiekis pagal matematinį modelį pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Apskaičiuotas šerkšno kiekis

Šaltinis: sudaryta autorių

Skirtumai tarp teorinių ir eksperimentinių šerkšno kaupimosi duomenų (2 lentelė) stebimi 3600 s. Tik eksperimento pabaigoje buvo atlikti šerkšno kiekio matavimai.

Eksperimentiniai rezultatai (1,2 g) yra didesni už teorinius (0,95 g), manoma kad tai atsitiko dėl to, kad neįvertinti paviršiaus parametrai ir vėjo įtaka šerkšno kaupimosi greičiui. Teoriniai skaičiavimai prognozavo, kad per nurodytą laikotarpį, ant veidrodžių susikaups 0,95 g šerkšno, tačiau eksperimentiškai nustatyta, kad reali šerkšno masė siekė 1,2 g – tai 0,5 g daugiau nei tikėtasi. Šis neatitikimas parodo, jog nors matematinis modelis gali būti naudingas prognozuojant tam tikrus oro reiškinius, jo pritaikomumas ribotas, kadangi realiaame pasaulyje šerkšno susidarymą lemia daugiau sudėtingų, tarpusavyje glaudžiai susijusių veiksnių (vėjas, paviršiaus šiurkštumas, pažaidos ir t.t.).

2 lentelė

Šerkšno susidarymo (kiekio) eksperimentinių ir teorinių rezultatų dinamika laike

Laikas t , s	Stebėjimo rezultatai/pastabos	Eksperimentiniai šerkšno kaupimosi rezultatai, g	Teoriniai šerkšno kaupimosi rezultatai, g
0	Sausas, švarus paviršius	0,00	0,00
600	Šerkšnui formuotis tinkama RH	0,00	0,05
1200	Šerkšnas dar nematomas	0,00	0,12
1800	Šerkšnas nežymus	0,00	0,18
2400	Šerkšnas nežymiai dengia apie 10 proc. veidrodžio paviršiaus	0,00	0,25
3000	Šerkšnas nežymiai dengia apie 25 proc. veidrodžio paviršiaus	0,00	0,32
3600	Šerkšnas nežymiai dengia apie 70 proc. veidrodžio paviršiaus.	1,2	0,95

Šaltinis: sudaryta autorių

Palyginus gautus dviem metodais rezultatus ir siekiant patvirtinti arba paneigti hipotezes, atliktas statistinis eksperimentinių ir teorinių rezultatų palyginimas, nustatyta, kad eksperimentinių rezultatų vidurkis

yra 0,17 g, o teorinių – 0,27 g ir parodo šerkšno kaupimosi greičio dinamiką per visą eksperimento laikotarpį, apskaičiuotą kaip visų tarpinių taškų masės vidurkis. Eksperimentinių rezultatų standartinis nuokrypis – 0,45 g, o teorinių rezultatų standartinis nuokrypis – 0,34 g. Nepriklausomų imčių T-testo reikšmė yra 1,12, o P-reikšmė – 0,34. Kadangi P-reikšmė yra didesnė už 0,05 reikšmingumo lygį, hipotezė nėra atmetama. Tai reiškia, kad skirtumai tarp eksperimentinių ir teorinių rezultatų nėra statistiškai reikšmingi, o teorinis modelis pakankamai gerai atspindi realius duomenis. Tačiau, nepaisant to, eksperimentiniai rezultatai parodė tam tikrą šerkšno kaupimosi skirtumą, palyginti su teoriniais skaičiavimais. Šis skirtumas leidžia manyti, kad modelio tikslumas gali būti pagerintas, įtraukiant papildomus aplinkos veiksnius, tokius kaip paviršiaus šiurkštumas ar veidrodėlių šilumos laidumas. Modelio tobulinimas galėtų padidinti prognozių tikslumą ir labiau atitikti realias sąlygas.

Diskusija. Sudaryta šerkšno kiekio susidarymo modelis neapima svarbių veiksnių, tokių kaip paviršiaus būklė (pvz., paviršiaus šiurkštumas), oro slėgis ar oro taršos lygiai, kurie taip pat gali turėti įtakos šerkšno kaupimosi greičiui. Pavyzdžiui, vėjo buvimas gali paspartinti šerkšno formavimąsi dėl oro srautų ir temperatūros pokyčių. Taip pat, modelis neatsižvelgia į paviršiaus drėgmės adsorbciją ar paviršių šilumos laidumą ar jų skirtumus. Šis modelis leidžia optimizuoti veidrodėlių valdymo sistemas, integruojant temperatūros ir drėgmės jutiklius bei valdymo algoritmus. Modelis tinkamas šaltuoju metų laiku, tačiau jis gali būti mažiau tikslus kitose aplinkos sąlygose. Taip pat modelis nesuderintas su kitomis transporto priemonių automatinėmis kontrolės sistemomis (pvz., su valdymo blokų algoritmais, dėl skirtingų duomenų rinkimo ir apdorojimo metodų). Manoma, kad įvairūs paviršiai ne tik pasižymi itin dideliu vandens atstūmimu, bet ir mažesniu sukibimu su ledu ir gali prailginti šerkšno susidarymą ant paviršiaus.

Išvados

1. Atlikus lyginamąją analizę tarp Mercedes-Benz E220, BMW E60 ir Audi A4 B9 automobilio veidrodėlių valdymo sistemų, paaiškėjo, kad visos analizuotos sistemos naudoja 12 V DC maitinimo įtampą ir turi įjungimo/išjungimo funkcijas. Vis dėlto, nei viena iš šių sistemų neturi vaizdinės indikacijos ar temperatūros bei drėgmės nustatymo funkcijų, kas yra būtina žiemos sąlygomis veiksmingam veidrodėlių apsaugojimui nuo šerkšno kaupimosi. Eksperimentui sukurta automobilio veidrodėlių papildoma automatinė valdymo sistema ženkliai išplėtė funkcijas: drėgmės matavimo funkciją (drėgmę nuo 0% iki 90% RH), temperatūros matavimo funkciją (temperatūrą nuo -30 °C iki +40 °C), vaizdinę indikaciją, informuojančią apie sistemos būseną, ir valdymo bloko darbinę temperatūrą nuo -40 °C iki +50 °C.

2. Sukurtas matematinis modelis siekiant apskaičiuoti šerkšno susidarymo kiekį, atsižvelgiant į pagrindinius veiksnius: temperatūrą, drėgmę ir veidrodėlių paviršiaus savybes. Modelyje buvo įvertintos aplinkos temperatūros, drėgmės lygio, paviršiaus šilumos laidumo ir kitų fizikinių savybių įtakos, kurios galėtų turėti lemiamos reikšmės šerkšno kaupimosi procese. Įgyvendintas eksperimentas, naudojant sukurta automobilio veidrodėlių papildomą automatinę valdymo sistemą, buvo atliktas per 3600 sekundžių laikotarpį. Eksperimento metu, naudoti trys jutikliai (du DHT21 ir vienas Uni-T A12T), kuriais buvo stebimi šerkšno kaupimosi pokyčiai ant automobilio veidrodėlio. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad šerkšno masė po eksperimento siekė 1,2 g, tuo tarpu teoriniai modelio skaičiavimai numatė šerkšno masę 0,95 g, rodydami 0,25 g skirtumą tarp teorinių ir eksperimentinių duomenų. Šis skirtumas leidžia manyti, kad modelyje nebuvo pilnai įvertinti kai kurie aplinkos veiksniai, pavyzdžiui, vėjo poveikis. Eksperimento metu fiksuota maksimali temperatūra buvo -0,5 °C, o minimali temperatūra antrojo jutiklio pabaigoje pasiekė -3,5 °C. Vidutinė temperatūra visų jutiklių buvo -1,58 °C. Drėgmės lygis pradžioje siekė 80 %, o eksperimento pabaigoje išaugo iki 92 %, o vidutinė visų trijų jutiklių drėgmė buvo 87 %. Atlikus statistinį teorinio modelio ir eksperimentinių rezultatų palyginimą, nustatyta, kad P-reikšmė (0,34) yra didesnė už 0,05 reikšmingumo lygį. Todėl hipotezė nėra atmetama - teorinis modelis pakankamai gerai atspindi eksperimentinius duomenis, o tarp rezultatų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo. Nors statistinė analizė parodė, kad reikšmingo skirtumo tarp teorinio modelio ir eksperimentinių rezultatų nėra, eksperimentiniai matavimai parodė šiek tiek didesnį šerkšno kaupimosi greitį nei prognozavo teorinis modelis (eksperimentinis vidurkis – 0,17 g, teorinis – 0,27 g). Tai rodo, kad modelio tikslumas gali būti pagerintas įtraukiant papildomus veiksnius, tokius kaip vėjas, paviršiaus šiurkštumas ar aplinkos slėgis.

Rekomendacijos. Atsižvelgiant į eksperimentų metu nustatytus neatitikimus, būtina tobulinti šerkšno kaupimosi modelį, įtraukiant papildomus aplinkos veiksnius įtakojančius šerkšno formavimąsi.

Literatūra

1. Audi A4 (B9) 2016-2024 Owner's Manual. [žiūrėta 2024 – 10 – 20]. Prieiga per internetą: https://www.audia4b9.com/audi_a4_b9_2016_2024_owner_s_manual-1816.html

2. Kucukcoskun, K., Eng, M., Boeykens, R., & De Langhe, K. 2016. Prediction of exterior noise generated by a side-mirror of an SUV. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 253, No. 5, pp. 3306-3316). Institute of Noise Control Engineering.
3. Kuwana, J., & Itoh, M. 2008, October. Dynamic angling side-view mirror for supporting recognition of a vehicle in the blind spot. In *2008 International Conference on Control, Automation and Systems* (pp. 2913-2918). IEEE.
4. Lawrence, M. G. 2005. The relationship between relative humidity and the dew point temperature in moist air: A simple conversion and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(2), 225-234.
5. Lowe, R. 1977. Meteorological factors affecting frost formation. *Journal of Applied Meteorology*, 16(2), 212-220.
6. ManualsLib. 2022. Mercedes-benz E-class 2010 Owner's Manual pdf Download. [žiūrėta 2024 – 10 – 20]. Prieiga per internetą: <https://www.manualslib.com/manual/2518133/Mercedes-Benz-E-Class-2010.html>
7. ManualsLib. BMW E60 - Free Pdf Manuals Download. [žiūrėta 2024 – 10 – 20]. Prieiga per internetą: <https://www.manualslib.com/b/bmw+e60.html>
8. Olsson, M. 2011. Designing and optimizing side-view mirrors, p. 97.
9. Schkreba, A., Pampel, S., Burnett, G., Large, D. 2021. Driver perception using a camera-based digital side mirror: An on-road study.
10. Smith, J., Johnson, K. 2013. Frost formation and its influence on automotive systems. *Journal of Engineering and Applied Science*, 56(1), 89-95.
11. Xu, Y., Ling, H., Qian, F., Wang, Y., & Huang, J. 2017. The Layout Design of Rearview Mirror Based on Vehicle Ergonomics. In *Proceedings of SAE-China Congress 2016: Selected Papers 23* (pp. 417-429). Springer Singapore.

STUDY OF FROST FORMATION DYNAMICS USING AN AUTOMOTIVE MIRROR AUXILIARY AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Summary

The aim of this study is to investigate the frost accumulation rate and quantity on car mirrors using a developed additional automatic control system. The system monitors temperature and humidity to protect mirror motors from freezing and damage during operation. The paper describes frost accumulation monitoring, analyzes a theoretical model to determine the impact of temperature and humidity on frost accumulation, and compares theoretical calculations with experimental data. The experiments were conducted using three different temperature and humidity sensors. Results showed a frost mass of 1.2 g after 3600 seconds, compared to the theoretical prediction of 0.95 g. This discrepancy highlights the influence of environmental factors, such as wind, not fully accounted for in the model. The findings suggest improvements to the model for better accuracy in future studies.

AUTOMOBILIO IŠMETIMO SISTEMOS GARSO SKLENDŽIŲ REGULIAVIMO SKLENDĖS JUDĖJIMO DINAMIKOS TYRIMAS

Lukas Pukelis, Rasa Žygienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Nepaisant Europos Sąjungos reglamentuojamo transporto priemonių išmetimo sistemų garso lygio, praktikoje išlieka iššūkių, susijusių su efektyvia garso sklendžių integracija ir valdymu, ypač hibridinių ir elektrinių automobilių kontekste. Šio tyrimo tikslas yra ištirti automobilių išmetimo sistemų garso sklendžių kampo kitimo dinamiką realiomis eksploataavimo sąlygomis ir palyginti gautus rezultatus su teoriniais modeliais. Tyrimas atliktas naudojant skaitinius modeliavimus ir kompiuterines simuliacijas bei praktinius bandymus su realiais automobiliais. Įvertinti kintamieji apėmė sklendžių kampo keitimąsi priklausomai nuo garso lygio, automobilio greičio ir variklio apkrovos. Tyrimo metu nustatyta, kad praktiniai bandymų metu sklendžių kampo dinamika buvo lėtesnė. Didžiausias neatitikimas tarp teorinių ir praktinių duomenų buvo užfiksuotas mažinant garso lygį, kur teoriniai modeliai numatė greitesnį sklendės kampo mažėjimą nei tai, kas buvo fiksuojama bandymų metu. Tyrimo išvados gali padėti reguliuotojams tobulinti esamus standartus, atsižvelgiant į praktinės veiklos iššūkius.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Išmetimo sistema, garso slopinimo sklendė, triukšmo tarša, triukšmo kontrolė, dinamika, transporto priemonė.

Įvadas

Automobilių išmetimo sistemos garso sklendžių (garso sklendžių) tyrimai ir reglamentavimas pastaraisiais metais tapo svarbia tema, atsižvelgiant į aplinkosaugos ir viešosios sveikatos iššūkius. Europos Sąjunga reglamentuoja šią sritį per Reglamentą (ES) Nr. 540/2014, kuris apima motorinių transporto priemonių garso lygį ir su jais susijusias slopinimo sistemas. Šis reglamentas nustato techninius ir administracinius reikalavimus dėl transporto priemonių garso lygio, taip pat pakeitimo slopinimo sistemų. Tai apima tiek naujus automobilius, tiek jų pakaitinius komponentus, kad būtų užtikrintas triukšmo ribojimas ir aplinkos apsauga. Akustinės sistemos yra ypač svarbios hibridiniams ir elektriniams automobiliams, kurie, dėl jų mažesnio triukšmo, gali būti pavojingi pažeidžiamiesiems kelių naudotojams. Be to, tyrimai (Eberspächer, 2023) apie automobilių išmetimo sistemų garso sklendes daugiausiai orientuojasi į aktyvių triukšmo mažinimo technologijų kūrimą. Tai apima automobilių išmetimo sistemos optimizavimą ir integravimą su akustinėmis sklendėmis, kurios gali adaptuoti garso lygį priklausomai nuo vairavimo sąlygų (pavyzdžiui, atsižvelgiant į greitį ar variklio apkrovą). Ši sritis taip pat apima aktyvius saugos sprendimus, kurie padeda mažinti triukšmą miesto aplinkoje ir pagerinti kelių saugumą.

Naujienos šiose srityse apima akustinių technologijų tobulinimą, taip pat jų integravimą į tvarias mobilumo sistemas, kad būtų pasiektas mažesnis poveikis aplinkai ir padidinta sauga, ypač urbanizuotose vietovėse, kur triukšmo lygiai yra didžiausi.

Triukšmo kontrolė automobiliuose yra svarbus aspektas tiek saugumui, tiek gyvenimo kokybei miestuose. Eismo triukšmas ne tik veikia žmonių sveikatą, bet ir yra didelis streso šaltinis tiek vairuotojams, tiek pėstiesiems ir aplinkiniams gyventojams. Remiantis Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) duomenimis, ilgalaikis triukšmo poveikis gali padidinti širdies ir kraujagyslių ligų riziką bei sukelti miego sutrikimus, o tai savo ruožtu gali prisidėti prie didesnio mirtingumo rodiklio (World Health Organization, 2018). Tyrimai taip pat rodo, kad triukšmas gali paveikti centrinės nervų sistemą, pabloginti atmintį ir susikaupimą (Hale, 2019: 127-134).

Problema iškyla tada, kai transporto priemonės, ypač tos, kurios neturi efektyvios garso slopinimo sistemos, sukelia nepageidaujamą triukšmo taršą. Problema paaštrėja nakties metu, kai modifikuoti automobilių ar motociklų duslintuvai ir nesuvaldomas išmetamo garso lygis trikdo gyventojų ramybę. Dėl to eismo triukšmo tarša tapo viena iš pagrindinių problemų Europos miestuose, kur triukšmo lygis dažnai viršija PSO nustatytus saugos ribas (European Environment Agency, 2020).

Eismo triukšmas tiesiogiai veikia žmogaus sveikatą, didindamas širdies ligų ir kraujagyslių patologijų riziką (Hetrick, 2022:487-493). Svarbu pažymėti, kad triukšmo poveikis ypač ryškus tiems, kurie gyvena šalia intensyvaus eismo vietų, pavyzdžiui, greitkelių arba oro uostų, kur triukšmo lygiai dažnai viršija 70 dB. Triukšmo slopinimo priemonės tapo būtinybe ne tik siekiant pagerinti gyvenimo kokybę, bet ir sumažinti sveikatos priežiūros išlaidas, susijusias su eismo triukšmo sukeliama sutrikimais. Dėl šių priežasčių įvairiose šalyse buvo priimti įstatymai ir reglamentai, nustatantys leistinas triukšmo normas pagal paros laiką ir skiriantys baudas už jų viršijimą (Lietuvos Respublikos triukšmo kontrolės įstatymas, 2021).

Naujų triukšmo kontrolės technologijų įdiegimas transporto priemonėse tapo būtinybe. Daugelyje automobilių gamintojų, tokių kaip BMW, Dacia, Hyundai, Porsche, įdiegta pažangios išmetimo sistemos su

vakuuminėmis sklendėmis, kurios reguliuoja garso lygį priklausomai nuo automobilio režimo (Johnson & White, 2021: 658-674). Tai leidžia ne tik pagerinti garso slopinimą, bet ir padidinti variklio efektyvumą. Šiuolaikinės automobilių išmetimo sistemos su dinamiu slopintuvu yra optimizuotos, kad sumažintų ne tik garso lygį, bet ir išmetamų teršalų kiekį, taip atitinkant vis griežtesnius aplinkosaugos reikalavimus (Gutiérrez et al., 2020: 65-73).

Atlikti tyrimai, kuriuose analizuojamas išmetimo sistemos komponentų ir visos sistemos veikimas, rodo, kad atidarius sklendę variklio galia padidėja apie 20 % aukštomis apsukomis, o sukimo momentas padidėja apie 20 % esant žemoms apsukoms (Fuhrmann et al., 2006: 437-450). Palyginus benzininius ir dyzelinius variklius, nustatyta, kad dyzeliniai varikliai dažnai sukuria mažesnę triukšmą dėl išmetimo sistemos slopinimo mechanizmų, tokių kaip turbokompresorius, kuris slopina aukšto dažnio garsus ir harmonikas (Cavina et al., 2016: 185-199.). Kiti tyrimai (Huang et al., 2016: 779-788.) taip pat parodė, kad specializuoti varikliai su turbokompresoriais sukuria sportinio automobilio garsą, kuris yra stiprus ir charakteringas, tačiau kartu turi tam tikras garso slopinimo savybes, kurios gali būti pritaikytos tiek komerciniuose, tiek sportiniuose automobiliuose. Šios technologijos tobulinimas ir integravimas į transporto priemones gali reikšmingai prisidėti prie triukšmo taršos mažinimo, ypač miesto aplinkoje, kur dėl intensyvaus eismo triukšmo poveikio gyvenimo kokybė yra stipriai paveikta.

Automobilių išmetimo sistemų garso sklendės yra svarbios siekiant sumažinti triukšmo taršą, tačiau esami reglamentai ir tyrimai nepilnai sprendžia visus praktinius aspektus, ypač susijusius su dinaminiais triukšmo valdymo būdais. Taigi kyla problemiškas klausimas: kokie inžineriniai būdai ir tyrimo metodai leistų nustatyti automobilio išmetimo sistemos garso slopinimo sklendės kitimo parametrus laike?

Tyrimo tikslas - ištirti automobilių išmetimo sistemų garso sklendžių kampo kitimo dinamiką realiomis eksploataavimo sąlygomis ir palyginti gautus rezultatus su teoriniais skaičiavimais. Reikalinga išanalizuoti teorinių ir eksperimentinių rezultatų neatitikimus, kad būtų galima optimizuoti triukšmo kontrolės procesus ir sklendės veikimo parametrus.

Straipsnis sudarytas iš dviejų dalių. Pirmoje dalyje aprašoma automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės projektavimas ir įrengimas, o antroje – eksperimentiniu būdu atlikti sklendės kampo verčių matavimai realiomis sąlygomis palyginti su teorinių skaičiavimų rezultatais.

Tyrimo metodai: literatūros analizė, skaitiniai metodai, kompiuterinis modeliavimas ir eksperimentiniai bandymai, siekiant įvertinti sklendės judėjimo parametrų dinamiką.

Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės projektavimas ir įrengimas

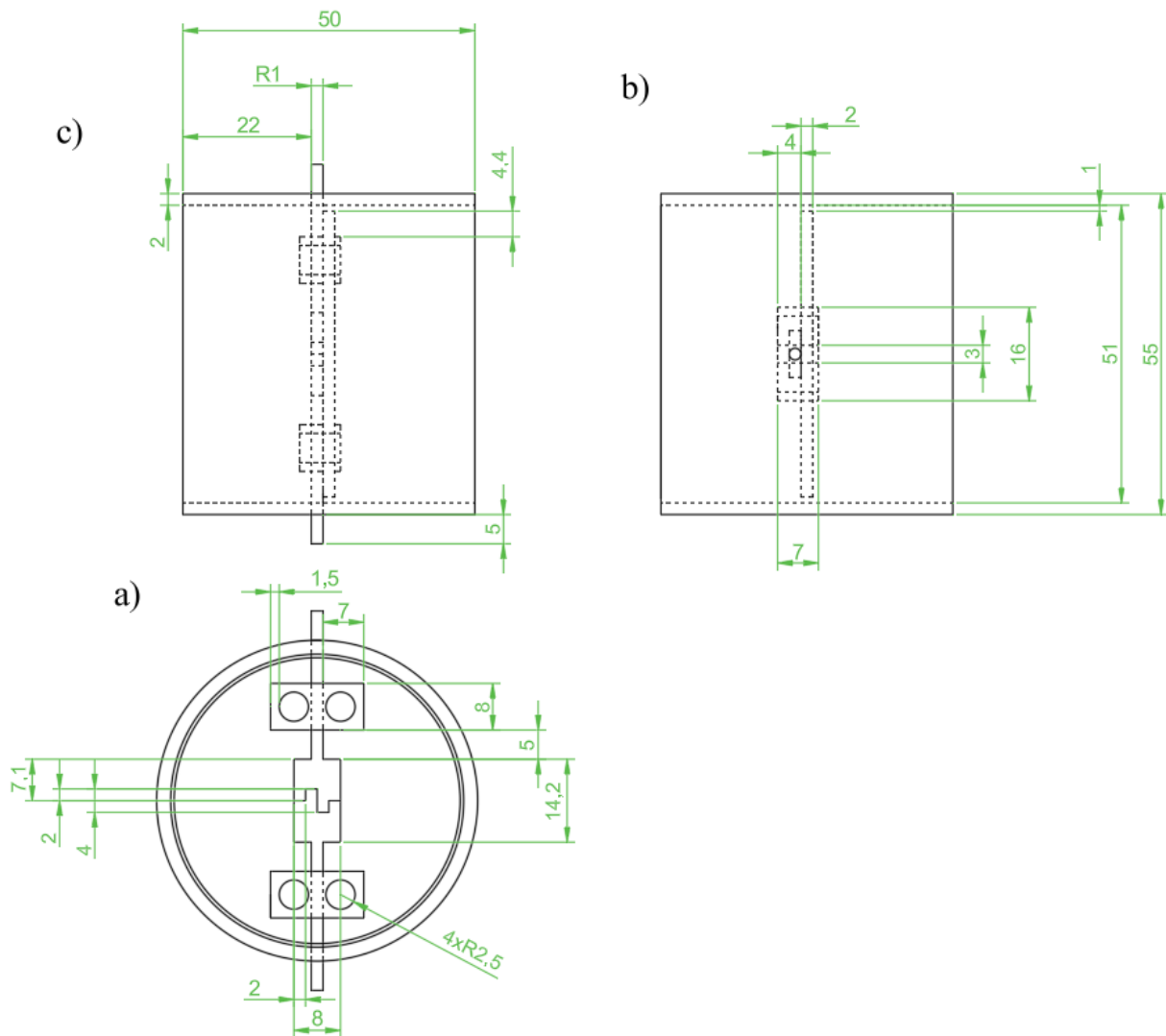
Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės sistema įtvirtinta naudojant angas bagažinėje. Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės įrengimo vieta (jutiklio įrengimo vieta pažymėta raudonai, o sklendės vieta pažymėta mėlynai) parodyta 1 paveiksle. Prie išmetimo sistemos pritvirtintas ST1146 jutiklis ir žingsninis MOT3 varikliukas. Atstumas tarp jų apie 1 metras.



1 pav. Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės įrengimo vieta (jutiklio įrengimo vieta pažymėta raudona, o sklendės vieta pažymėta mėlynai)

Sistemos valdymo blokas, kurį sudaro du „STM32F4407VGT6“ ir „STM32F051RBT6“ mikrovaldikliai, įrengtas bagažinėje, nuo jo nutiestas 3 metrų ilgio laidas. Valdymo blokelis paslėptas po sėdine, bet esant poreikiui gali būti laisvai laikomas bagažinėje šalia atsarginio rato. Jutiklis ST1146 sumontuotas prie duslintuvo išėjimo. Esant staigiems triukšmo lygio pokyčiams, sklendė turėtų greitai keisti savo padėtį, kad užtikrintų reikiamą reakciją.

Sklendė yra 2 mm storio, diametras yra 49 mm, turi keturias skylės kurių skersmuo yra 2,5 mm nuo krašto yra 4,4 mm atstumas. Sklendės ašis yra sudaryta iš dviejų dalių, kad būtų paprastesnis dalių keitimas ir sumontavimas, ašies skersmuo 1 mm, o išsikišimas nuo vamzdžio paviršiaus per 5 mm. Bendras ilgis ašies yra 65 mm, ašies viduryje yra plokštuma kurio plotis yra 14,2 mm o ilgis 8 mm.



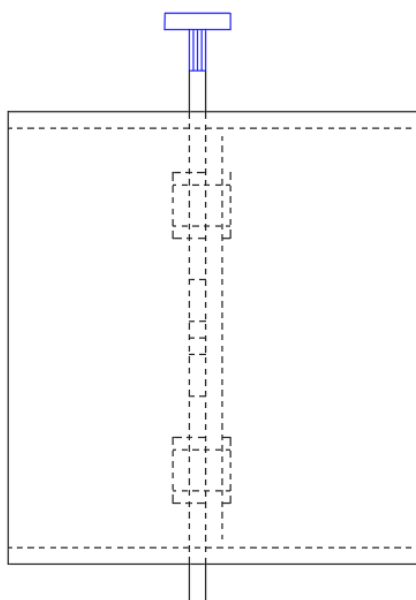
2 pav. Sklendės vaizdas: a) iš priekio, b) iš viršaus, c) iš šono
Šaltinis: sudaryta autorių

Tvirtinimo plokštelės yra dvejų skirtos užtvirtinti ašies elementus jų išmatavimai yra 8 mm ilgio 16 mm pločio, turi dvi skylės kurios yra 2,5 mm skersmenio, nuo kraštu atitrauktos per 1,5 mm, o tarp skylių atstumas 3 mm. Sklendės vamzdis 2 mm storio, vidinio diametro 51 mm, o išorinio diametro 55 mm, turi dvi skylės savo viduryje, kad būtų ašis išsikišusi. Sklendės vaizdas iš priekio, viršaus ir šono parodyta 2 paveiksle.

Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendė sukurta, siekiant užtikrinti optimalų triukšmo kontrolės lygį, ypač intensyviose eismo sąlygose. Sklendės judėjimas yra valdomas naudojant jutiklius ir varikliuką, kurie reaguoja į kintantį garso lygį. Šios sistemos veikimas grindžiamas sklendės padėties reguliavimu, leidžiančiu sumažinti nepageidaujamą triukšmą, pavyzdžiui, miesto eismo sąlygomis.

Išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės bandymai

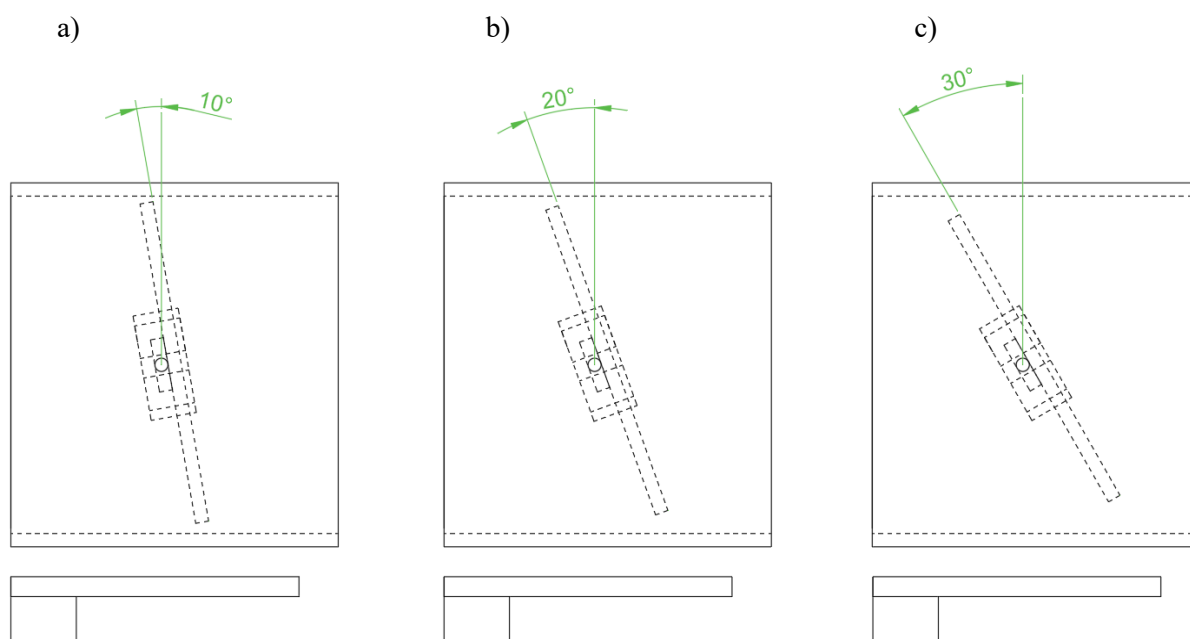
Atliekant automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės bandymų naudotos šios priemonės: slankmatis, lituoklis 40 W 220 – 240 V 50 Hz , multimetras eksperimentinė plokštė, liniuotė, matlankis. Automatinė sklendė įmontuota į Audi A3 2.0 TDI 2005 m. automobilį. Bandymų vieta - Lietuvos inžinerijos kolegijos garažas. Prieš bandymus sistema ir matavimo įranga kalibruoti. Nustatyta pradinė sklendės padėtis $\theta_0 = 10^\circ$ ir potenciometro padėtis parodyta 3 paveiksle.



3 pav. Sklendės vaizdas (juodas) ir potenciometras (mėlynas)

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustatyta, kad pagal Lietuvos Respublikos įstatymus (HN 33:2011) viršijus leistiną triukšmo normą, taikoma bauda. Nustatyta leistina transporto priemonių triukšmo dienos metu norma nuo 6-18 h yra iki 70 dB, vakaro metu nuo 18-22 h yra iki 65 dB ir nakties - nuo 22-6 h yra iki 60 dB. Sklendės padėtis esant skirtingiems kampams parodytas 4 paveiksle.



4 pav. Sklendės padėtis, kai pasvyrimas: a) 10 laipsnių, b) 20 laipsnių, c) 30 laipsnių,

Šaltinis: sudaryta autorių

Eksperimento kontrolė. Temperatūra, drėgmė ir oro slėgis gali turėti įtakos sklendės veikimui ir jutiklių tikslumui, todėl pasirinkta sausa ir higienos normas atitinkanti patalpa. Jutikliai ir matavimo įrenginiai buvo iš anksto sukalibruoti. Kalibravimas buvo atliekamas reguliariai, kad užtikrintų matavimų patikimumą viso eksperimento metu. Prieš eksperimentą ir kartojant eksperimentą patikrintos mechaninės sistemos (varikliuko ir sklendės) būklė, siekiant užtikrinti jos veikimo tikslumą. Su potenciometrais P17MA atlikti 6 kartus skirtingų garso sklendės kampų matavimai ir nustatytos vidutinės sklendės padėties reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

Potenciometro P17MA parodymai atliekant bandymus su automobilio garso sklende kai triukšmo lygis $L_{AFmax} = 65$ dB

Laikas t, sekundėmis	Sklendės kampas $\theta(t)$, laipsniais
0	10
1	18,22
2	25,16
3	26,59
4	29,68

Šaltinis: sudaryta autorių

Garso įtakos sklendės judėjimo kampui analizė yra svarbi, nes ji tiesiogiai susijusi su triukšmo valdymu transporto ir pramonės sektoriuose, kur efektyvus garso slopinimas yra esminis tiek darbo našumui, tiek aplinkos kokybei. Triukšmo mažinimas naudojant automatiškai reguliuojamas sklendes tampa būtinu sprendimu, siekiant kontroliuoti garso lygį, kuris gali ne tik pabloginti gyvenimo kokybę, bet ir turėti neigiamą poveikį sveikatai. Sklendės, reaguodamos į garso lygį, gali keisti savo kampą, taip reguliuodamos oro ar dujų srautą ir sumažindamos triukšmą. Tai ypatingai svarbu pramoninėse ir transporto aplinkose, kur nuolatinis triukšmo poveikis gali sukelti rimtas sveikatos problemas, tokias kaip širdies ir kraujagyslių ligos, miego sutrikimai ir stresas.

Labai svarbus aspektas yra garso lygio matavimas, kuris naudojant decibelų (dB) skalę padeda įvertinti triukšmo intensyvumą ir jo poveikį. Garso slopinimo procesas, susijęs su sklendžių judėjimu, apima įvairius parametrus, tokius kaip reakcijos greitis ir sklendės kampo keitimo dinamika. Pagal šiuos parametrus galima tiksliai reguliuoti triukšmo lygį, siekiant užtikrinti geriausią našumą ir saugumą tiek pramoniniuose, tiek transporto įrenginiuose.

Kartu su garso lygio slopinimo formulėmis, tokios kaip pradinio ir po pokyčių garso lygio skirtumų matavimas, ši analizė padeda optimizuoti sklendžių veikimą, kad būtų pasiektas maksimalus efektyvumas realaus laiko sąlygomis, kai nuolat kinta triukšmo lygis.

Sklendės judėjimo kampo valdymas remiasi ne tik technologiniais sprendimais, bet ir matematiniu modeliavimu, kuris apibūdina reakcijos greitį ir judėjimo dinamiką. Tinkamai pritaikytos sklendės ne tik slopina triukšmą, bet ir prisideda prie sistemos efektyvumo, užtikrindamos, kad judėjimo kampo pokyčiai atitiktų triukšmo lygio pokyčius.

Garso lygis. Triukšmo lygis yra aprašomas garso lygio matavimu dB (deciBelais), kuris yra logaritminis garso intensyvumo santykis. Tai reiškia, kad kiekvienas 10 dB padidėjimas atitinka 10 kartų didesnę garso intensyvumą. Apskaičiuojamas garso lygis, yra (1) lygtis (Nelson, 2015):

$$L_A = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (1)$$

čia: I - garso intensyvumas, I_0 - numatytas/pradinis garso intensyvumo slenkstis $I_0 = 10^{-12}$ W/m².

Šis santykinis matavimas leidžia įvertinti triukšmo lygį pagal žmogaus klausos ribas ir patogiai interpretuoti tiek nedidelius, tiek labai didelius garso skirtumus. Triukšmo lygio kontrolė svarbi tiek pramonėje, tiek viešose vietose, siekiant išlaikyti aplinkos kokybę ir saugumą.

Garso slopinimas sklendžių pagalba. Garso slopinimas yra vienas pagrindinių būdų kontroliuoti triukšmo lygį. Sklendės gali būti automatiškai reguliuojamos, keičiant jų atidarymo kampą, kas leidžia kontroliuoti oro arba dujų srautą. Priklausomai nuo sklendės padėties, garso lygis gali būti sumažinamas. Tai ypač naudinga situacijose, kuriose garso lygio viršijimas gali sukelti neigiamų pasekmių.

Garso slopinimo formulė, apibrėžta (2) lygtyje (Gutiérrez et al., 2020):

$$L_{Aslop} = L_{Aprad} - L_{Apok}, \quad (2)$$

čia: L_{Aprad} - pradinė garso lygio vertė prieš pokyčius (dB), L_{Apok} - garso lygio vertė po pokyčių (dB).

Ši lygtis leidžia apibrėžti, kiek sumažinamas garso lygis, pakeitus sklendės kampą ar kitus parametrus. Taip pat leidžia įvertinti, ar slopinimo sistema yra pakankamai efektyvi esant skirtingiems aplinkos triukšmo lygiams.

Sklendės judėjimo dinamika ir reakcijos greitis. Sklendės judėjimo kampo reguliavimas gali būti pagrįstas iš anksto nustatytais garso slopinimo parametrais, leidžiančiais užtikrinti garso lygio sumažėjimą. Sklendės padėtis keičiasi pagal triukšmo lygį, atsižvelgiant į jutiklio siunčiamus signalus, kurie nurodo triukšmo padidėjimą ar sumažėjimą. Pirmos eilės diferencialinė lygtis (3) aprašo šį dinaminį pokytį (Fuhrmann et.al, 2006):

$$\left(\frac{d\theta(t)}{dt}\right) = k \cdot (\theta_{tikis} - \theta(t)), \quad (3)$$

čia: $\frac{d\theta(t)}{dt}$ - sklendės kampo keitimo greitis, k - reakcijos greičio koeficientas, kuris priklauso nuo sklendės judėjimo mechanizmo ir sistemos inercijos (reakcijos koeficientas k gali būti teigiamas. automobiliuose, kurių sklendės padėtis turi greitai keistis reaguojant į variklio apkrovą, tad labai svarbu pasirinkti tinkamą koeficiento k reikšmę, kad būtų pasiektas tinkamas sklendės reagavimo greitis. Lygties $(\theta_{tikis} - \theta(t))$ ženklas parodo, kad sklendės kampo kitimas vyks tokia kryptimi, kad sklendės pozicija artės prie tikslinės.), $\theta(t)$ - sklendės kampas laiko momentu t , θ_{tikis} - tikslinė sklendės padėtis, kuri nustatoma pagal garso jutiklio signalą, siekiant sumažinti triukšmą.

Kai sklendės padėtis $\theta(t)$ yra nutolusi nuo tikslinės padėties θ_{tikis} , kampo pokytis bus spartus, artėjant prie θ_{tikis} judėjimo greitis mažėja:

$$\left(\frac{d\theta(t)}{dt}\right) \rightarrow 0, \text{ kai } (\theta(t) \rightarrow \theta_{tikis}). \quad (4)$$

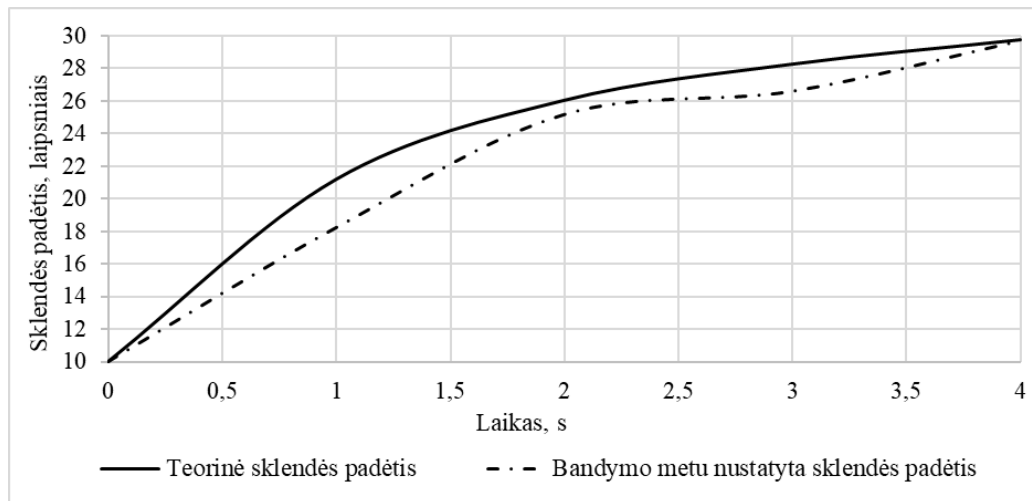
Sklendės padėties eksponentinis artėjimas prie tikslinės vertės. Sklendės artėjimas prie tikslinės padėties aprašomas eksponentine funkcija, kuri rodo, kad sklendės judėjimas lėtėja, artėjant prie tikslinės padėties:

$$\theta(t_i) = \theta_{tikis} + (\theta_0 - \theta_{tikis})e^{-kt_i}, \quad (5)$$

čia: θ_0 - pradinė sklendės padėtis, t_i - laikas, $-kt_i$ - eksponentinis mažėjimo narys apibūdinantis sklendės judėjimo artėjimą prie tikslinės padėties laiko momentu.

Lygtis (5) atspindi natūralų sklendės judėjimo pobūdį – iš pradžių greitą keitimąsi ir vėliau lėtėjimą, kai sistema pasiekia reikiamą padėtį. Tai leidžia tiksliau kontroliuoti sklendės judėjimą ir užtikrinti, kad jos judėjimas būtų pakankamai tikslus ir stabilus. Kai garso lygis viršija nustatytą ribą, sklendės kampas artėja prie tikslinės padėties. Kai garsas mažėja, sklendės kampas lėtai artėja prie pradinės padėties. Ši dinamika leidžia įvertinti sklendžių veikimo efektyvumą siekiant realiu laiku sumažinti triukšmą.

Skaiciavimams atlikti įvertinami pradiniai duomenys. Nustatomas triukšmo lygis $L_{AFmax} = 65$ dB. Pradinė sklendės padėtis $\theta_0 = 10^\circ$. Tikslinė sklendės padėtis $\theta_{tikis} = 30^\circ$, tai padėtis kai sklendė uždaro ir triukšmas sumažinamas iki leistinos ribos. Reakcijos greičio koeficientas $k = 0,5 \text{ s}^{-1}$, kad sklendė optimaliai judėtų būti link θ_{tikis} .



5 pav. Sklendės padėties kampo dinamika laike

Šaltinis: sudaryta autorių

Reakcijos greičio koeficientas nustatomas atliekant bandymus, fiksuojant sklendės judėjimo greitį ir keičiant sklendės padėtį. Kuo k greitesnis tuo sklendės jautresnės. Sklendės judėjimas neturi sukelti virpesių ir/ar per didelės apkrovos varikliui. Pradinis laikas $t(0) = 0$ s. Sklendės pozicija pradeda keistis nuo pradinės padėties, kai aptinkamas per didelis triukšmas. Sklendės kampas artėja prie tikslinės ribos $\theta_{tikis} = 30$ laipsnių, per 4 sekundes pasikeitimo beveik tikslinę vertę, o tai leidžia sumažinti triukšmą iki leistino lygio.

Atlikus skaičiavimus gauti sklendės padėties kampo dinamikos laike rezultatai palyginti su bandymo metu gautais rezultatais ir parodyti 5 paveiksle.

Teoriniai ir praktiniai duomenys sutampa tik pradiname matavime (0 s), kai sklendės kampas abiejuose atvejuose yra 10 laipsnių. Tai rodo, kad pradinis teorinis modelis ir eksperimento sąlygos buvo nustatyti vienodai. Didžiausias skirtumas tarp teorinių ir bandymo duomenų yra 1 sekundės laiko momentu, kur teorinis kampas yra 21,21 laipsnis, o eksperimentinis – 18,22 laipsniai. Skirtumas tarp dviejų matavimų yra 14,1%, kas rodo reikšmingą neatitikimą tarp teorijos ir praktikos. Sklendės kampo pokyčiai per laiką rodo, kad dinaminis atsakas praktikoje yra šiek tiek lėtesnis ir labiau svyruojantis nei teorijoje. Skirtumai mažėja su kiekviena sekunde, nuo maksimalaus skirtumo pirmąją sekundę iki minimalaus skirtumo ketvirtąją sekundę. Tai reiškia, kad teorinis modelis geriau atspindi realybę ir adaptyvios sistemos poveikis tampa efektyvesnis laikui bėgant. Bandymo metu nustatyta sklendės padėtis rodo stabilizavimąsi 4 sekundę, kai sklendės kampas beveik pasiekia teorinį maksimumą. Tai reikalauja papildomos analizės ir galbūt modelio korekcijos, ypač atsižvelgiant į faktinius triukšmo lygius ir vairavimo sąlygas.

Diskusija. Tyrimo rezultatai parodė, kad teorinis modelis neatitiko eksperimentinių duomenų greičiausiai dėl aplinkos veiksnių ir įrangos tikslumo, todėl būtina toliau tobulinti tiek modeliavimo programas, tiek eksperimentų sąlygas. Efektyvesnė triukšmo kontrolė gali būti pasiekta naudojant pažangias akustines technologijas, kurios leidžia dinamiškai keisti sklendės padėtį atsižvelgiant į triukšmo lygio pokyčius. Remiantis gautais duomenimis, siūloma ateityje atlikti išsamesnius tyrimus, kurie apimtų įvairių garso slopinimo konfigūracijų testavimą, siekiant geriau suprasti dinaminių sklendžių veikimą ir efektyvumą.

Išvados

Automatizuotos sklendės valdymo sistemos paprastai remiasi algoritmais, kurie nuolat matuoja triukšmo lygį ir pritaiko sklendės padėtį, kad išlaikytų nustatytą ribą. Valdymo algoritmo tikslas yra maksimaliai sumažinti triukšmą naudojant minimalų sklendės judesių kiekį, siekiant taupyti energiją ir mažinti dėvėjimąsi.

1. Automobilio išmetimo sistemos garso reguliavimo sklendės įdiegimas ir konfigūracija atlieka svarbų vaidmenį mažinant triukšmo poveikį tiek aplinkai, tiek automobilio keleiviams. Dėl jutiklio ST1146 sumontuoto prie duslintuvo išėjimo ir variklio MOT3 valdymo sistemos sklendė keičia savo padėtį, reaguodama į kintančias sąlygas, taip užtikrindama, kad triukšmo lygis neviršytų leistinų normų. Ši technologija ne tik pagerina vairavimo komfortą, bet ir prisideda prie visuomenės sveikatos apsaugos, mažindama ilgalaikio triukšmo poveikio riziką.

2. Tyrimo rezultatai parodė, kad dinaminė garso sklendė automobilių išmetimo sistemoje efektyviai keičia padėtį atsižvelgdama kai nustatomas triukšmo lygis $L_{AFmax} = 65$ dB, tačiau yra tam tikrų neatitikimų tarp teorinių modelių ir praktinių bandymų. Teoriniai modeliai numatė lygesnį padėties keitimą, palyginti su staigesniais kampo svyravimais bandymų metu. Nors pradinis teorinis modelis ir eksperimento pradžios duomenys sutapo, vėlesniame laiko tarpų stebėjime buvo fiksuojami skirtumai. Didžiausias neatitikimas buvo matomas 1 sekundės laiko momentu, ir sudarė 14,10% skirtumą. Sklendės kampo pokyčiai per laiką parodo, kad dinaminis atsakas praktikoje yra šiek tiek lėtesnis ir labiau svyruojantis nei teoriniuose modeliuose.

Literatūra

1. Cavina, M., Piacenti, A. & Fedele, L., 2016. Noise reduction in diesel engines: Comparison between different types of engine configurations and turbochargers. *Journal of Sound and Vibration*, 389, pp. 185-199.
2. Eberspächer Purem, 2023. Active and passive acoustic systems for noise reduction in automotive exhaust systems. [Žiūrėta 2024-10-11]. Prieiga per internetą: <https://www.eberspaecher.com/>
3. European Environment Agency, 2020. Environmental noise in Europe: The state of the environment report. EEA Report No 21/2020.
4. European Commission, 2024. Reducing noise in the automotive industry. [Žiūrėta 2024-10-11]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu>
5. European Parliament and Council. (2014). Regulation (EU) No 540/2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC. *Official Journal of the European Union*, L158, pp. 131-195. [Žiūrėta 2024-10-11]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu>
6. European Union. (2017). Commission Delegated Regulation (EU) 2017/1576 amending Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council as regards the Acoustic Vehicle Alerting System requirements for vehicle EU-type approval. *Official Journal of the European Union*, L239, pp. 3-7. Prieiga per internetą: <https://www.legislation.gov.uk>
7. Fuhrmann, H. & Kwon, K. S., 2006. *Dynamic Modeling of Airflow Control Systems*. Springer-Verlag.
8. Fuhrmann, P., Lorenz, J. & Meyer, T., 2006. Turbocharging technology and its impact on noise suppression in modern internal combustion engines. *Journal of Engine Research*, 32(4), pp. 437-450.
9. Gutiérrez, A., Sanchez, J. & Ruiz, E., 2020. Dynamic exhaust gas recirculation system in automotive engines to reduce emissions and noise. *Journal of Automotive Engineering*, 34(3), pp. 65-73.
10. Gutiérrez, J. C. & Martínez, F., 2020. *Noise Control Engineering Principles and Applications*. John Wiley & Sons.

11. Hale, L., 2019. Impact of environmental noise on cognitive function and health. *Environmental Research*, 174, pp. 127-134.
12. Hetrick, J., 2022. The health effects of road traffic noise: Implications for urban design. *Environmental Health Perspectives*, 130(4), pp. 487-493.
13. Huang, X., Zhang, Y. & Wang, L., 2016. Evaluation of exhaust valve timing in reducing vehicle emissions and sound levels. *International Journal of Automotive Technology*, 17(5), pp. 779-788.
14. Huang, X., Johnson, M., & White, D., 2016. *Control Systems and Dynamic Modeling for Noise Reduction*. CRC Press.
15. Johnson, P. & White, R., 2021. Innovations in automotive exhaust systems: Vacuum valve-based noise reduction and performance improvement. *International Journal of Vehicle Design*, 44(6), pp. 658-674.
16. HN 33:2011 Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje 2011-06-21, Nr. 75-3638 [Žiūrėta 2023-9-27]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/402074>.
17. Lietuvos Respublikos triukšmo kontrolės įstatymas, 2021. Lietuvos Respublikos triukšmo kontrolės įstatymas. Valstybinė žurnalų leidykla.
18. Nelson, P., 2015. *The Physics of Sound*. Pearson Education.
19. Peterson, D., 2023. Traffic noise and its contribution to ischemic heart disease in urban populations. *Journal of Cardiovascular Research*, 49(3), pp. 210-218.
20. World Health Organization, 2018. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe.

INVESTIGATION OF THE SOUND CONTROL DAMPER IN A CAR EXHAUST SYSTEM

Summary

Despite the European Union's regulation of the sound levels of vehicle exhaust systems, practical challenges remain with the effective integration and management of sound valves, especially in the context of hybrid and electric vehicles. The aim of this study is to investigate the dynamics of the angle change of sound valves in automobile exhaust systems under real operating conditions and to compare the results with theoretical models. The study was conducted using numerical modeling, computer simulations, and practical tests with real vehicles. The evaluated variables included the change in valve angle depending on sound level, vehicle speed, and engine load. Practical tests revealed that the dynamics of the valve angle are slower. The greatest discrepancy between theoretical and practical data was recorded when reducing the sound level, where theoretical models predicted a faster decrease in valve angle than what was observed in the tests. The findings of the study may help regulators refine existing standards, taking into account the challenges of practical operations.

TRANSPORTO PRIEMONIŲ TECHNOLOGINIAI TYRIMAI

AUTOMOBILIŲ PATEKIMO Į SERVISĄ PRIEŽASČIŲ PRIKLAUSOMYBĖ NUO JŲ EKSPLOATACIJOS LAIKO

Paulius Makevičius, Marius Mažeika
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Nepriklausomai nuo to, kaip ir kokios naujausios technologijos diegiamos šiuolaikiniuose automobiliuose, jiems vis vien bus reikalinga techninė priežiūra ir remontas, kurie sudaro didžiąją transporto priemonės išlaikymo kaštų dalį (Burnham ir kt., 2021). Remiantis mokslinės literatūros šaltiniais ir atlikto tyrimo duomenimis, straipsnyje analizuojamos priežastys, dėl kurių automobiliai patenka į servisus, priklausomai nuo jų eksploataavimo laiko. Tyrimai rodo, kad naujiems (0-3 metai) automobiliams dažniausiai tenka lankytis servisuose dėl planinės techninės priežiūros, tuo laikotarpiu pasitaiko ir gamybos defektai. Pogarantinio laikotarpio (virš 3 metų) automobilių lankymosi servisuose priežasčių pobūdis keičiasi – padažnėja mechaninių, elektrinių ir elektroninių komponentų gedimai, atsirandantys dėl natūralaus nusidėvėjimo bei eksploatacijos sąlygų. Straipsnyje analizuojama gedimų dinamika skirtingais automobilio amžiaus tarpsniais, nes lengvųjų automobilių parkas Lietuvoje ir visoje Europoje yra labai skirtingo amžiaus, ir didžiąją dalį Europos parko sudaro senesni nei 10 metų automobiliai (ACEA, 2023). Tyrimas skirtas automobilių valdytojams ir techninės priežiūros įmonėms, siekiant geriau suprasti gedimų pasiskirstymo dinamiką, planuojant įmonių veiklą.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Automobilio amžius, techninė priežiūra, gedimai, vertinimas.

Įvadas

Automobilių techninės priežiūros ir remonto iššūkiai tampa vis svarbesni transporto sektoriuje, nes automobiliai tampa vis sudėtingesni dėl naujų technologijų integracijos. Nors automobiliai ir tampa „draugiškesni“ aplinkai, mažiau taršūs, tačiau techninės priežiūros kaštai dažnai atvejais nėra linkę mažėti (Petrauskienė, 2021). Techninės priežiūros išlaidas sudaro planiniai eksploatacinių medžiagų keitimai ir gedimų šalinimas. Garantiniu ir pogarantiniu laikotarpiu gedimų pobūdis pastebimai skiriasi, o jų tyrimas yra svarbus, siekiant suprasti eksploatacines problemas ir pateikti sprendimus tiek automobilių techninės priežiūros objektams, tiek transporto priemonių naudotojams. Moksliniai tyrimai rodo, kad garantiniu laikotarpiu gedimai dažniausiai atsiranda dėl gamybos defektų ir elektronikos sutrikimų (Steinhilber ir Nagel, 2017). Pogarantiniu laikotarpiu didžiausią įtaką gedimų dažnumui daro natūralus nusidėvėjimas ir netinkama transporto priemonės priežiūra (Luneckas ir Bertulis, 2014). Literatūroje taip pat pabrėžiama, kad garantiniai gedimai yra glaudžiai susiję su gamintojo atsakomybe ir produktų kokybės kontrole. Tyrimai parodė, jog didelė dalis garantinio laikotarpio gedimų atsiranda dėl konstrukcijos arba medžiagų defektų, o šių problemų pašalinimas yra esminė gamintojų veiklos dalis, siekiant išlaikyti vartotojų patenkėjimą (Gimbickas, 2020). Kita vertus, pogarantiniu laikotarpiu automobilių gedimų tipai tampa labiau įvairūs ir apima tiek mechaninius, tiek elektrinius komponentus, kurių susidėvėjimo priežastis dažnai priklauso nuo vairavimo sąlygų ir techninės priežiūros dažnumo. Šiame straipsnyje siekiama ištirti automobilių apsilankymo servise priežastis skirtingais automobilio amžiaus tarpsniais, atskleisti dažniausiai pasitaikančias gedimų kategorijas bei padėti techninio aptarnavimo centrams ir automobilių naudotojams būti tam pasiruošus. Tyrimo rezultatai prisidės prie geresnių strategijų kūrimo techninės priežiūros srityje.

Taigi kyla probleminis klausimas: kaip kinta automobilių vykimo į servisus priežastys priklausomai nuo automobilio amžiaus, duomenis panaudojant techninės priežiūros procesų optimizavimui ir savalaikiam automobilių parko atnaujinimui ir jo valdymui.

Tyrimo tikslas: Ištirti automobilių techninės priežiūros ir remonto pobūdžio priklausomybę nuo jų eksploatacijos laiko.

Uždaviniai

1. Atlikti automobilių vykimo į servisą priežasčių apžvalgą naudojantis mokslinės literatūros duomenimis.
2. Parengti automobilių techninės priežiūros ir remonto pobūdžio priklausomybės nuo jų eksploatacijos laiko tyrimo metodiką.
3. Nustatyti automobilių vykimo į servisą priežasčių priklausomybę nuo automobilio eksploataavimo laiko.

Teoriniai automobilių patekimo į servisą priežasčių aspektai

Automobilių priežiūros poreikiai ir dažniausios gedimų priežastys skiriasi priklausomai nuo transporto priemonės amžiaus. Tyrimai rodo, kad naujesni ir senesni automobiliai susiduria su skirtingo pobūdžio problemomis, o jų vizitai į servisą turi skirtingas priežastis. Toliau pateikiama analizė su procentine išraiška pagal amžiaus grupes, remiantis mokslinės literatūros šaltiniais:

Nauji automobiliai (0–3 metai). Tyrimai apie šios grupės automobilius mokslinėje literatūroje yra dažniausiai sutinkami. Jų dažniausi gedimai būna susiję su to laiko naujausiomis technologijomis. Ši amžiaus grupė dažniausiai susiduria su elektronikos gedimais, tokiais kaip parkavimosi jutiklių, navigacijos sistemų ar kompiuterių veikimo klaidomis. Tokie gedimai sudaro iki 50 % vykimo į servisą priežasčių (Steinhiper ir Nagel, 2017). Gamybos proceso metu atsiradusios klaidos, pvz., netinkamai sumontuotos dalys ar medžiagų defektai, yra dar viena dažna priežastis (Tilvikas, 2010).

Naujiems automobiliams yra būtina planinė techninė priežiūra. Remiantis skirtingų literatūros šaltinių duomenimis, ji sudaro 20–30% visų vizitų ir apima tokius darbus, kaip alyvos ir filtrų keitimas ir automobilio diagnostika.

Vidutinio amžiaus automobiliai (4–10 metų). Šioje amžiaus grupėje mechaniniai komponentai, pvz., pakaba, stabdžiai ir transmisija, pradeda intensyviai dėvėtis, todėl tai tampa pagrindine (iki 40 %) vizitų į servisus priežastimi (Luneckas ir Bartulis, 2014).

Elektros sistemų problemos, pvz., akumuliatorių baterijos gedimai ar šviesų sistemos sutrikimai, taip pat yra dažna vizito į servisus priežastis ir gali siekti iki 25 % visų vizitų.

Reguliarūs techninės priežiūros darbai, tokie kaip diržų keitimas, stabdžių trinkelėlių keitimas ir alyvos keitimas, yra dažni vidutinio amžiaus automobiliuose ir tai sudaro apie 30–40% visų vizitų (Burnham et al., 2021).

Senesni automobiliai (virš 10 metų). Senstant transporto priemonei, planiniai techninės priežiūros darbai (alyvų, filtrų, diržų keitimai) niekur nedingsta, bet padaugėja darbų dėl mechaninių ir elektrinių komponentų dėvėjimosi. Tai apima variklio, transmisijos ir pakabos problemas (Steinhiper ir Nagel, 2017). Senstant automobiliui, elektriniai komponentai, tokie kaip starteriai ar generatoriai, sugenda dažniau (Windover ir kt., 2015). Apie šios amžiaus grupės automobilių techninės priežiūros ir remonto poreikius mokslinių tyrimų yra labai mažai, nors šios grupės automobilių Europoje yra daugiausiai (ACEA, 2023).

Atliekant mokslinių publikacijų analizę, pastebima tokių vykimo į servisus priežasčių, kurios nėra susiję su automobilio amžiumi, pvz., kėbulo ar kitų komponentų pažeidimai per eismo įvykius ar ratų remontas. Padangos yra viena greičiausiai dėvimų automobilių dalių, todėl jų priežiūra ar keitimas taip pat yra dažna priežastis važiuoti į servisą. Tai apima padangų keitimą sezoniskai, ratų balansavimą ir oro slėgio juose patikrinimą (Dong ir kt., 2021).

Teorinės dalies išvados ir įžvalgos

Apžvelgus mokslinę literatūrą, galima teigti, kad automobilių, kurių amžius 0-3 metai, dažniausia lankymosi servisuose priežastis yra naujausių technologijų elektrinių komponentų gedimai. Vidutinio amžiaus automobiliai dažniausiai susiduria su mechaniniais gedimais. Automobiliai, kurių amžius virš 10 metų, mokslinėje literatūroje analizuojami epizodiškai, todėl jų lankymosi servise priežastis procentais išreikšti galimybės nėra. Įvertinus tai, kad automobiliai, kurių amžius virš 10 metų, Europoje yra dauguma, aktualu tirti šią grupę, nes servisų veikla labiausiai nuo šios grupės priklauso. Šios įžvalgos padeda formuoti tyrimo metodiką, kuri būtų naudinga siekiant kurti efektyvias techninės priežiūros strategijas ir sumažinti eksploatacinius kaštus skirtingais automobilio eksploatavimo etapais.

Tyrimo metodika

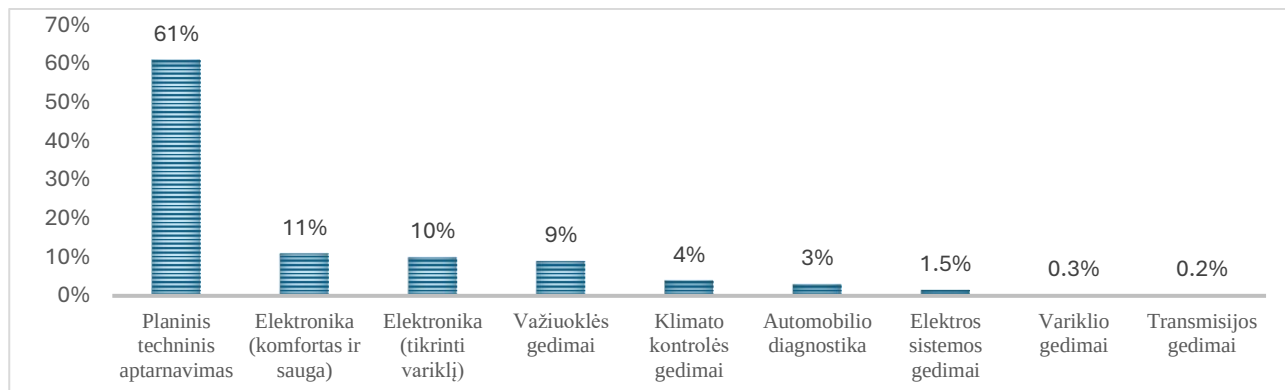
Tyrimui atlikti buvo pasitelktos įmonių automobilių techninės priežiūros ir kokybės duomenų bazės. Iš viso buvo išanalizuotos trijų įmonių duomenų bazės. Duomenų bazių analizės tikslas – rasti automobilių techninės priežiūros bei gedimų skaičius ir nustatyti jų priklausomybę nuo automobilio amžiaus. Iš viso buvo įvertinti 181 vnt. M1 ir N1 kategorijos automobilių duomenys. Šiam straipsniui buvo analizuotos 2022-2023 metų duomenų bazės ir panaudota tyrimo medžiaga aktuali šiai temai. Analizuojamų automobilių vidutinė metinė rida tiriamuoju laikotarpiu buvo 53420 km. Analizuojami automobilių parkai buvo sudaryti iš skirtingų automobilių gamintojų modelių. Analizuojami įmonių automobiliai pagaminti nuo 2008 iki 2023 metų ir visi buvo varomi vidaus degimo varikliais. Atliekant duomenų analizę, automobiliai buvo padalinti į atskiras grupes: 0-3 metų amžiaus, 4-10 metų, ir virš 10 metų. Duomenų apdorojimui buvo naudojama SPSS (angl. Statistical Package for the Social Sciences) programinė įranga.

Tyrimo rezultatai

Automobilių, kurių amžius nuo 0 iki 3 metų, vykimo į servisą priežastys

Analizuojamų automobilių garantinis laikotarpis vyraavo nuo 2 iki 5 metų, su ridos apribojimais nuo 100000 km iki 160000 km. Visiems automobiliams garantija baigėsi dėl viršytos numatytos ridos garantinėse sąlygose. Garantiniu laikotarpiu automobiliai buvo aptarnaujami tik autorizotuose servisuose, išskyrus padangų keitimo darbus. Padangų keitimo darbai į šią analizę nebuvo įtraukti. Pasibaigus garantiniam periodui, automobiliai buvo aptarnaujami skirtinguose servisuose pagal patogumą geografiškai ir pagal tinkamiausio

laiko aptarnavimui suderinimą. Šiuo periodu automobiliai į servisą dažniausiai (61 % nuo visų vizitų) buvo varomi pagal gamintojo rekomendacijas, kurios susietos su variklio alyvos keitimo intervalais. Daugumos automobilių šis intervalas yra pastovus ir svyruoja nuo 20000 iki 30000 kilometrų arba 12 mėn., bet rida būdavo pasiekama greičiau. Šių aptarnavimų metu buvo keičiama alyva, filtrai ir kitos medžiagos bei komponentai, kurių keitimo intervalas numatytas automobilio priežiūros instrukcijoje. To paties aptarnavimo metu atliekama pilna automobilio diagnostika. Atlikus diagnostiką techninio aptarnavimo metu, 18 % atvejų būdavo nustatomi gedimai, kurių dauguma būdavo išsprendžiami to paties vizito metu. Šių vizitų metu kai kuriasi atvejais būdavo atnaujinama ir automobilio programinė įranga.



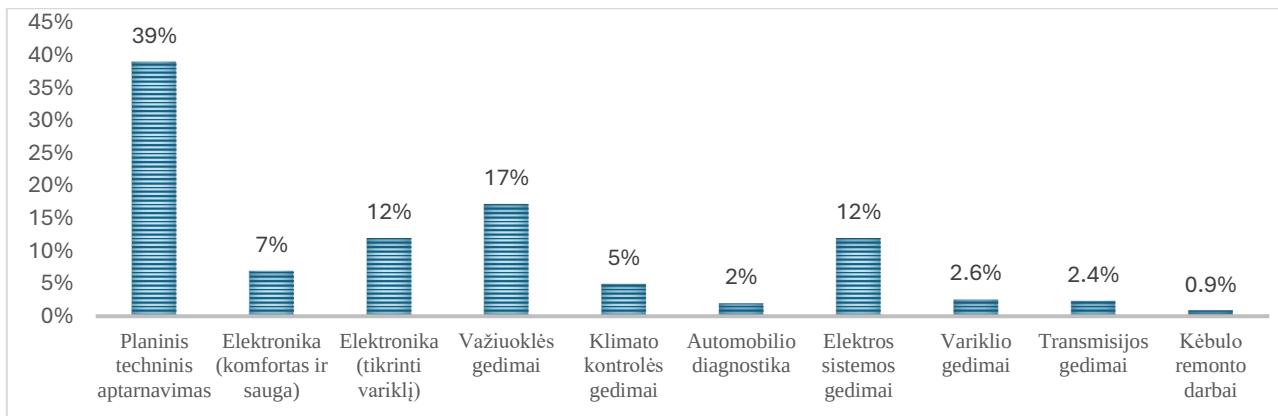
1 pav. 0-3 metų amžiaus automobilių vykimo į servisą priežasčių pasiskirstymas

Kita patekimo į automobilių servisas priežastis (21 % nuo visų vizitų) - prietaisų skydelyje rodomos klaidos. Šios klaidos išskiriamos į 2 grupes: 10 % gedimų susiję ekologinėmis ir variklio maitinimo sistemomis (AdBlue, EGR, katalizatorių efektyvumas, DPF, O2 ir NOx reikšmės) ir 11 % gedimų susiję su saugos bei komforto įrangos elektronikos gedimais (išmanūs žibintai, linijų ir aklosios zonos asistentas, automatinio greičio palaikymo sistema, automatinio parkavimo sistema ir t.t.). Dėl važiuoklės gedimų šioje amžiaus grupėje buvo 9 % vizitų. Nors automobiliai ir nauji, bet jie intensyviai eksploatuojami įvairios būklės keliuose, todėl važiuoklės gedimai neišvengiami. Panašios tendencijos pastebimos kitų mokslininkų tyrimų rezultatuose (Gimbickas ir Mickevičius, 2020). Šis skaičius gali būti ir didesnis, bet dalis komponentų būna pakeista techninių aptarnavimų metu, kai jie būna pastebėti automobilio diagnostikos metu. Klimato kontrolės sistemos gedimai atsiranda ir naujiems automobiliams ir tokie gedimai sudaro 4 % vizitų į automobilių servisas priežasčių. Šis skaičius pakankamai didelis naujiems automobiliams, bet pastebėta tendencija, kad keletas automobilių lankėsi servise po keletą kartų dėl tų pačių priežasčių. Neplaninė automobilio diagnostika sudarė 3 % apsilankymų. Ji buvo atliekama tais atvejais, kai kildavo įtarimų, kad automobilis yra netvarkingas, bet diagnostika jokių nukrypimų nuo normos nenustatydavo. Dažniausi nusiskundimai būdavo susiję su variklio galia ir su pakabos tariamais gedimais. Automobilio elektros sistemos gedimai sudarė 1,5 % vizitų priežasčių. Šiuo atveju buvo akumuliatorių baterijų problemos ir jos buvo keičiamos. Variklio ir transmisijos gedimai buvo pakankamai reti ir jie atitinkamai sudarė 0,3 ir 0,2 %. Grafinė išraiška yra pateikta 1 paveiksle, kur akivaizdžiai matosi, kad pagrindinė vizitų į servisą priežastis yra planinis techninis aptarnavimas. Dažniausiai automobiliai į servisas vyko sava eiga, bet pasitaikė situacijų, kai automobilis dėl gedimų negalėjo tęsti kelionės ir teko naudotis techninės pagalbos automobiliais, kas labai sutrikdo įmonės darbo režimą. Tokių atvejų buvo 1,2 % (eismo įvykiai į šiuos skaičiavimus neįtraukti, nes jie analizuotose įmonėse nesusiję su automobilio amžiumi).

Automobilių, kurių amžius nuo 4 iki 10 metų, vykimo į servisą priežastys

Šioje automobilių amžiaus grupėje beveik visi automobiliai po garantinio laikotarpio, įmonės techninio aptarnavimo ir remonto vietas renkasi savo nuožiūra, automobilių rida - nuo 146800 km iki 647300 km.

Kaip ir naujesnių automobilių grupėje, planinis techninis aptarnavimas yra dažniausia servise lankymosi priežastis. 38 % vizitų į servisas būtent ir vyko dėl techninio aptarnavimo. Šių aptarnavimų metu jau dažnu atveju atliekama daugiau darbų, nes dažnai prisideda skirstymo mechanizmo pavaros keitimas, stabdžių skysčių keitimas, pavarų dėžių alyvų keitimas, kas šią paslaugą daro sudėtingesne ir brangesne.

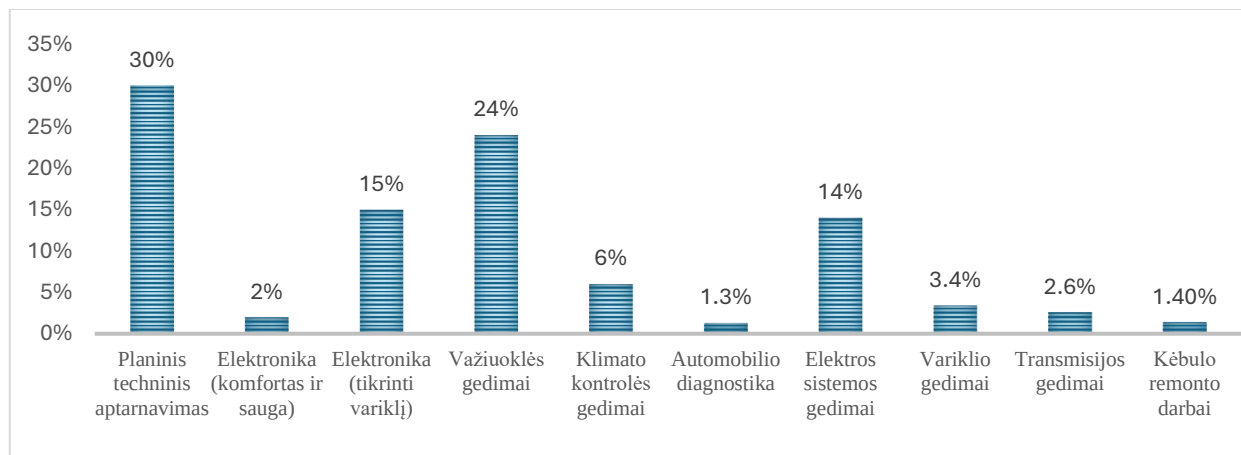


2 pav. 4-10 metų amžiaus automobilių vykimo į servisą priežasčių pasiskirstymas

Ekologinių sistemų gedimai tapo dažnesne vykimo į servisus priežastimi, lyginant su naujesniais automobiliais, ir sudaro 12 % visų vizitų. Neženklių padidėjimą galima sieti su tuo, kad dalis problemų jau išspręsta pirmaisiais eksploatavimo metais ir dalis sistemų buvo primityvesnės dėl senesnių gamybos metų. Saugos sistemų gedimai rodomi skydelyje tapo dalinai retesni ir tesudarė 7 % vizitų į servisus priežasčių. Tai galima sieti su mažesniu sistemų skaičiumi senesniuose automobiliuose ir su problemų išsprendimu pirmaisiais eksploatavimo metais. Važiuklės gedimai šioje automobilių amžiaus grupėje yra beveik dvigubai dažnesni nei naujesnių automobilių grupėje - 17 % lyginant su 8 %. Tai galima sieti su natūraliu automobilio komponentų dėvėjimusi dėl didelės ridos ir privalomų techninių apžiūrų periodiškumo, kurių metu nustatomi važiuoklės gedimai (Transeksta, 2024) ir dėl šių gedimų tenka vykti į servisą. Klimato kontrolės remonto ir neplaninės diagnostikos atlikimų skaičius ženkliai nekito. Elektros sistemos remonto atvejų skaičius padidėjo labai ženkliai - iki 12 %, tai susiję su automobilio senėjimu ir neatitikimais techninėse apžiūrose. Analizuojant elektros sistemos gedimus, pastebėtas ir dažnas baterijų gedimų atvejų skaičius šioje amžiaus grupėje. Baterijų gedimus galima susieti su jų amžiumi ir užvedimų skaičiumi (Wandale ir kt., 2020). Variklio ir transmisijos gedimų atvejų skaičius atitinkamai padidėjo iki 2,6 % ir iki 2.4 %, tai galima sieti su automobilių didele rida. Šioje automobilių amžiaus grupėje jau atsirado ir kėbulų defektai, dėl kurių teko vykti į specializuotus servisus, ir tai sudarė apie 1 % visų vizitų. Automobilius techninės pagalbos sunkvežimiu teko gabenti 1,4 % atvejų. Vykimo į servisą priežastis šioje amžiaus grupėje galima matyti 2 paveiksle.

Automobilių, kurių amžius virš 10 metų, vykimo į servisą priežastys

Šioje automobilių amžiaus grupėje visi automobiliai po garantinio laikotarpio, automobilių rida - nuo 386200 km iki 743000 km. Ši grupė analizuojamose įmonėse buvo pati mažiausia, nors mokslininkai rekomenduoja automobilius naudoti iki jiems sueis 18 metų, taip mažiausiai kenkiant gamtai (Danilecki ir kt., 2023). Kaip ir naujesnių automobilių grupėje planinis techninis aptarnavimas yra dažniausia servise lankymosi priežastis. 30 % vizitų į servisus būtent ir vyko dėl techninio aptarnavimo. Ekologinių sistemų gedimai tapo dažnesne vykimo į servisus priežastimi, lyginant su naujesniais automobiliais, ir sudaro 15 % visų vizitų. Neženklių padidėjimą galima sieti su tuo, kad dalis sistemų buvo primityvesnės dėl senesnių gamybos metų.



3 pav. Virš 10 metų amžiaus automobilių vykimo į servisą priežasčių pasiskirstymas

Saugos sistemų gedimai rodomi skydelyje tapo dalinai retesni ir tesudarė 2 % vizitų į servisus priežasčių. Tai galima sieti su mažesniu sistemų skaičiumi senesniuose automobiliuose. Vazioklės gedimai šioje automobilių amžiaus grupėje yra dažnesni nei naujesnių automobilių grupėje: 24 % lyginant su 9 % ir 17 %. Tai galima sieti su natūraliu automobilio komponentų dėvėjimusi dėl didelės ridos. Klimato kontrolės remonto ir neplaninės diagnostikos atlikimų skaičius ženkliai nekito. Elektros sistemos remonto atvejų skaičius padidėjo iki 14 %, tai susiję su automobilio senėjimu ir neatitikimais techninėse apžiūrose. Variklio ir transmisijos gedimų atvejų skaičius padidėjo iki 3 % ir iki 2.6 %, tai galima sieti su automobilių didele rida. Kėbulų defektai, dėl kurių teko vyksti į specializuotus servisus, sudarė apie 1,4 % visų vizitų. Automobilius techninės pagalbos sunkvežimiu teko gabenti 1,3 % atvejų. Vykimo į servisą priežastis šioje amžiaus grupėje galima matyti 3 paveiksle.

Apibendrinant galima teigti, kad visose analizuotose automobilių amžiaus grupėse pagrindinė lankymosi servise priežastis yra planinis techninis aptarnavimas. Didėjant automobilio amžiui, daugėja gedimų, susijusių su dėvėjimusi, nes didėja ir automobilių rida. Rezultatus gali dalinai iškraipyti papildomi darbai, atlikti planinio techninio aptarnavimo metu, nes vykimo į servisą priežastis buvo planinis techninis aptarnavimas, bet jo metu buvo pakeisti komponentai, kurie tam aptarnavimui pagal gamintojo instrukcijas nepriskiriami. Tai yra sritis, kurią rekomenduotina nuodugniai ištirti, kas leistų optimizuoti techninės priežiūros ir remonto procesų organizavimą.

Išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros analizė leido apžvelgti automobilių gedimų pasiskirstymą pagal automobilių amžių, iš ko daroma prielaida, kad naujausi automobiliai dažniausiai susiduria su elektronikos komponentų problemomis, o senesni - su mechaninių komponentų susidėvėjimu.

2. Sudaryta metodika rasti automobilių techninės priežiūros bei gedimų skaičius ir nustatyti jų priklausomybę nuo automobilio amžiaus, išanalizuojant 181 vnt. M1 ir N1 klasės automobilio serviso istorijos duomenis.

3. Nustatyta automobilių vykimo į servisą priežasčių priklausomybė nuo automobilio eksploatavimo laiko rodo, kad automobiliai iki 4 metų amžiaus 61% atvejų į servisą vyksta dėl planinio techninio aptarnavimo, kas automobiliams virš 10 metų amžiaus sudaro 30% vizitų atvejų.

Literatūra

1. ACEA. (2024) Vehicles in Use Europe 2023. <https://www.acea.auto/files/ACEA-report-vehicles-in-use-europe-2023.pdf>
2. Burnham, A., Gohlke, D., Rush, L., Stephens, T., Zhou, Y., Delucchi, M.A., Birky, A., Hunter, C., Lin, Z., Ou, S. (2021) Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains; Argonne National Laboratory Study: Chicago, IL, USA. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2021/05/167399.pdf>.
3. Danilecki, K., Smurawski, P., & Urbanowicz, K. (2023). Optimization of Car Use Time for Different Maintenance and Repair Scenarios Based on Life Cycle Assessment. *Applied Sciences*, 13(17), 9843. <https://doi.org/10.3390/app13179843>
4. Dong, Y., Zhao, Y., Md. Hossain, U., He Y., Peng Liu P. (2021) Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review, *Cleaner Environmental Systems*, Volume 2 <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100033>.
5. Fedorko, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Soos, L., Fabianova J., Pinosova, M. (2019) Failure analysis of irreversible changes in the construction of car tyres, *Engineering Failure Analysis*, Volume 104, Pages 399-408, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.035>.
6. Gimickas D., Mickevičius, T. (2020). „KIA“ markės automobilių gedimų tyrimas garantiniu laikotarpiu. „Agroinžinerija ir energetika“. Nr. 25, P. 129-134. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/110993>
7. Luneckas, D. and Bartulis, V.(2014). Research on probability for failures in VW cars during warranty and post-warranty periods. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*. 6, 5 (Dec. 2014), 564-569. <https://doi.org/10.3846/mla.2014.701>.
8. Petrauskienė, K., Galinis, A., Kliugaitė, D., & Dvarionienė, J. (2021). Comparative Environmental Life Cycle and Cost Assessment of Electric, Hybrid, and Conventional Vehicles in Lithuania. *Sustainability*, 13(2), 957. <https://doi.org/10.3390/su13020957>
9. Steinhilber, R., Nagel, A. (2017). New Opportunities and Incentives for Remanufacturing by 2020's Car Service Trends, *Procedia CIRP*, Volume 61, Pages 183-188, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.233>.
10. Tilvikas, K. (2010). Automobilių gendamumo garantiniu laikotarpiu tyrimas. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas. *Mechanikos inžinerija* <https://hdl.handle.net/20.500.12259/114909>
11. Wandale, P., Mali, S., Totala, T. (2020). Design of Vehicle Cranking Counter System Redefining Automotive SLI Battery Warranty. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*

12. Windover, P., Owens, R.J., Levinson, T.M., & Laughlin, M. (2015). Stop and Restart Effects on Modern Vehicle Starting System Components: Longevity and Economic Factors.
<https://publications.anl.gov/anlpubs/2015/05/115925.pdf>

DEPENDENCE OF REASONS FOR CARS ENTERING SERVICE STATIONS ON THEIR EXPLOITATION TIME

Summary

Regardless of how and what cutting-edge technologies are implemented in modern cars, they still require maintenance and repairs, which constitute the majority of the automobile's maintenance costs (Burnham et al., 2021). Based on scientific literature sources and empirical data, the article analyses the reasons why cars are taken to service stations, depending on their exploitation time. Researches show that new cars (0-3 years old) most often have to visit service stations for scheduled maintenance, during that time manufacturing defects related to structural or software errors in electronic components also occur, but these failures are often fixed at the manufacturer's expense, in some cases without the car user even knowing. After the warranty period (over 3 years), the nature of the reasons for car visits to service stations changes – faults of mechanical, electrical and electronic components due to natural wear and tear and operating conditions become more frequent. The article analyses the dynamics of breakdowns at different automobile age stages, as the passenger car fleet in Lithuania and across Europe is of very different ages, and the majority of the European fleet consists of cars older than 10 years (ACEA, 2023). The research is intended for car owners and maintenance companies in order to better understand the dynamics of breakdown distribution when planning company activities.

ALYVOS PRIEDO ĮTAKA VARIKLIO EKSPLOATAVINIAMS RODIKLIAMS

Tomas Mickevičius, Mantas Matišonka

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojama alyvos priedo įtaka variklio eksploataciniams rodikliams. Norint maksimaliai pailginti variklio tarnavimo laiką, alyva privalo išsaugoti savo veikliąsias medžiagas ir savybes. Alyva turi puikiai prilipti prie detalių paviršių, sukurti tvirtą plėvelę, nuo detalių paviršių nuplauti teršalus, esant plačiam temperatūrų diapazonui, užtikrinti tepimą. Siekiant išlaikyti alyvos savybes, kiekvienas gamintojas nurodo rekomenduojamą alyvos keitimo intervalą. Chemijos pramonei vis labiau skverbiantis į kasdienį gyvenimą, siūloma dar viena variklio priežiūros alternatyva tai alyvos priedai. Daugelis šių priedų gamintojų teigia, kad šis mišinys difunduoja į metalo paviršiaus kristalinę gardelę, esant ribinėms tepimo sąlygoms bei dideliame slėgiui ir aukštai temperatūrai. Iš alyvos priedo komponentų formuojasi keraminis sluoksnis. Šis sluoksnis iš dalies kompensuoja cilindro paviršių sudilimą ir sumažina tarpelį tarp stūmoklio ir cilindro. Tyrimo tikslas buvo įvertinti regeneruojančio alyvos priedo įtaką variklio darbo rodikliams. Eksperimentiniams tyrimams atlikti buvo paruošta tyrimo metodika ir įranga. Atlikti variklio darbo rodiklių matavimai. Atlikus eksperimentinius matavimus, panaudojus regeneruojantį alyvos priedą, buvo išmatuota padidėjusi variklio kompresija, sumažėjusios 3,2 % vidutinės degalų sąnaudos. Variklio galios ir sukimo momento rezultatuose ryškių pasikeitimų nepastebėta. Esant 2000 min⁻¹ sūkių dažniui, panaudojus regeneruojantį alyvos priedą, azotų oksidų emisija 15,3 % didėjo, anglies viendeginio emisija 10,2 % sumažėjo.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Dyzelinis variklis, alyvos priedas, variklio darbo rodikliai, deginių emisija, dūmingumas

Ivadas

Šiuolaikiniuose automobiliuose gausu skirtingomis sąlygomis veikiančių trinties mazgų. Ribinio ar mišraus tepimo režimai, kuriuose susidaro tiesioginis paviršių kontaktas, lemia intensyvių detalių dilimą. Norint užtikrinti kokybišką ir ilgalaikį variklio darbą, naudojamos variklinės alyvos, kurios ne tik atskiria trinties paviršius, bet ir valo variklio elementus bei papildomai jį aušina. Pagrindinė alyvos užduotis – sumažinti trintį ir dilimą tarp judančių variklio dalių, pašalinti suodžius ir degimo produktus. Alyvos kokybė ypač svarbi dėl skirtingų temperatūrų ir apkrovų, veikiančių variklio detales.

Chemijos pramonei vis labiau skverbiantis į kasdienį gyvenimą, siūloma dar viena variklio priežiūros alternatyva – alyvos priedai. Kaip teigia daugelis šių priedų gamintojų, šis alyvos priedo mišinys difunduoja metalo paviršiuje, esant ribinėms tepimo sąlygoms bei dideliame slėgiui ir aukštai temperatūrai. Iš alyvos priedo komponentų formuojasi keraminis sluoksnis, kai mikrotūriuose slėgis didelis ir aukšta temperatūra (Cyriac et al., 2021). Šis sluoksnis iš dalies kompensuoja cilindro paviršių sudilimą ir sumažina tarpelį tarp stūmoklio ir cilindro. (Aulin et al., 2019). Norint optimizuoti šių priedų naudojimą ir didinti panaudojimo efektyvumą, būtinos žinios apie šių medžiagų savybes, bei įvairius procesus vykstančius tepimo mechanizmuose.

Įvairių mechanizmų agregatų dalys dėvėsi ir joms nuolatos reikalinga priežiūra. Susidėvėjusius komponentus keičiant naujais reikalaujama didelių investicijų, todėl toks problemos sprendimas yra ekonomiškai nenaudingas. Siekiant to išvengti galima panaudoti priedus į alyvą, kurios kiek galima labiau sumažintu trintį ir prailgintu mechanizmo veikimo laiką, tačiau nagrinėjant mokslininkų šia tema atliktus tyrimus pasigendama mokslinių tyrimų, kurie būtų susiję regeneruojančio alyvos priedo įtaką variklio eksploataciniams rodikliams.

Tyrimo objektas: dyzelinio variklio darbo ir deginių emisijos rodikliai.

Darbo tikslas – įvertinti regeneruojančio alyvos priedo įtaką variklio eksploataciniams rodikliams

1. Apžvelgti pagrindinius teorinius veiksnius, lemiančius tepimo sistemos ilgaamžiškumą;
2. Atlikti dyzelinio variklio darbo rodiklių matavimus;
3. Įvertinti alyvos priedo įtaką deginių emisijos rodikliams.

Siekiant išspręsti iškeltus darbo uždavinius buvo pritaikyti moksliniai ir empiriniai tyrimo metodai.

Teoriniai tepimo sistemos ilgaamžiškumo aspektai

Variklis per transmisiją perduoda sukuriamą sukimo momentą į varančiuosius ratus, taip priversdamas automobilį judėti. Ilgesniam variklio tarnavimo laikui, reikėtų jį tinkamai prižiūrėti. Didelių jėgų veikiamos ir greit judančios viena kitos atžvilgiu variklio detalės trina viena į kitą. Šią trintį galima sumažinti, įskverbęs į jų tarpą alyvos. Tai atlieka tepimo sistema. Nuo tepimo sistemos priklauso variklio ilgaamžiškumas bei patikimumas. Variklinės alyvos paskirtis – tepti variklio vidaus detales, pašalinti degimo produktus, sumažinti trintį variklio viduje, apsaugoti detales nuo korozijos. išlaikant kuo ilgesnį jų darbingumą (Yao et al., 2020).

Variklio darbingumą galima prailginti tinkamai jį prižiūrint. Lengvųjų, krovininių, vilkikų, autobusų, traktorių, savaeigių mašinų ir mechanizmų varikliams yra parenkamos skirtingos alyvos. Pagal žaliavos rūšį alyvos skirstomos į mineralines, gaminamas iš naftos, pusiau sintetines – gaminamas iš naftos ir cheminės sintezės būdu, ir sintetines, gaminamas tik cheminės sintezės būdu. Alyva turi puikiai prilipti prie detalių paviršių, sukurti tvirtą plėvelę, nuo detalių paviršių nuplauti teršalus, esant plačiam temperatūrų diapazonui bei užtikrinti tepimą (Akbiyik et al., 2022). Variklinės alyvos gaminamos jas maišant tarpusavyje iš vienos ar kelių bazinių alyvų. Trinties mažinimui gali būti naudojami priedai, pagaminti iš molibdeno oksidų, alkoholių, esterių, riebalų rūgščių ir kitų junginių.

Eksploatuojant automobilį kinta alyvos kokybė, jos fizinės ir cheminės savybės. Variklio darbo metu, dėl aukštos temperatūros vyksta oksidacija, todėl yra naudojami antioksidantai. Alyvos klampą įtakoja temperatūrų pokytis, esant žemai temperatūrai klampa didėja, o aukštai – mažėja, klampos sumažėjimas ar padidėjimas neigiamai veikia variklio mazgus, šiai problemai išspręsti naudojami klampos indekso modifikatoriai (Besser et al., 2022). Reikia užtikrinti tepimą ir tokiu metu, kai alyvai tenka atlaikyti dideles apkrovas, tam naudojami dilimo mažinimo priedai. Kadangi alyvos funkcija ne tik tepti vidaus degimo variklio mazgus, bet ir plauti nepageidautinas medžiagas ir daleles, patekusius nešvarumus, susikaupusius suodžius ir t. t., norint pagerinti šią alyvos funkciją taip pat gali būti naudojami specialūs priedai.

Priedai yra svarbi alyvos dalis ir gali kompensuoti bei pagerinti bazinės variklio alyvos veikimą. Jie taip pat gali suteikti alyvai naujų savybių. Mokslininkai nagrinėjo vidaus degimo variklio parametrus naudojant alyvos priedą. Tyrimų rezultatai parodė, kad naudojant variklinę alyvą su boro priedu, degalų sąnaudos 2,4 – 8 % atitinkamai sumažėjo. Panaudojant alyvos priedą, anglies viendeginio ir nesudegusių angliavandenilių emisija reikšmingai nepasikeitė, tačiau azoto oksidų emisija 11,4 – 12,9 % sumažėjo. Autoriai savo darbe pastebėjo, kad į benzininį variklį įpylus boro modifikuotos alyvos, santykinai pagerėja variklio darbo ir deginių emisijos rodikliai (Akbiyik et al., 2022).

Autoriai tyrinėjo dyzelinio variklio alyvos priedų įtaką kietųjų dalelių susidarymui. Savo darbe mokslininkai pabrėžė, kad variklinės alyvos fizinės ir cheminės savybės, bei priedų kitimas turi didelį įtaką išmetamųjų dujų srauto sudėčiai (Kim et al., 2020). Kiti autoriai savo darbuose palygino alyvas, kurių sudėtyje yra nanomedžiagų. Rezultatuose pažymi, kad šie alyvų priedai išsiskiria puikiomis šiluminėmis ir tribologinėmis savybėmis (Alqahtani et al., 2022).

Efektyvūs variklio rodikliai priklauso nuo variklio konstrukcijos, naudojamų medžiagų ir detalių gamybos technologijos. Eksploatacijos metu atsiranda daug pašalinių veiksnių, kurie mažina variklio ekonomiškumą. Šiems parametrams turi įtakos, naudojami degalai, alyva, aušinimo skystis, įvairūs sandarinimo elementai (Wong et al., 2016). Darbo metu dyla besitrinančios ar terminių ir cheminių procesų veikiamos variklio detalės bei jų elementai. Nepriekaištingą šiuolaikinių mašinų ir transporto priemonių veikimą galima užtikrinti kompleksinėmis priemonėmis, kurias sudaro modernūs konstrukciniai sprendimai projektuojant, eksploatacinių ir konstrukcinių medžiagų naudojimas bei laiku atlikta techninė priežiūra. Šios sistemos grandys tarpusavyje tampa susijusios, tačiau pasigendama mokslinių tyrimų, kurie būtų susiję regeneruojančio alyvos priedo įtaką variklio eksploataciniams rodikliams.

Tyrimo metodika

Bandymai buvo atliekami su dyzeliniu Fiat Doblo 2006 metų laidos automobiliu. Tyrimams buvo naudota nauja sintetinė variklinė alyva WOLVER Super tec, SAE 5W30, ACEA S/C. Tyrimams naudotas alyvos priedas (revitalizantas). Tai remontinis atstatomasis mišinys (metalo kondicionierius). Šis priedas specialiai sukurtas dyzeliniams lengvųjų ir krovininių automobilių varikliams. Tinkamas naudoti su visų variklių alyvos rūšimis. Priedo granulės ištirpsta alyvoje, esant įprastai variklio darbinei temperatūrai. Revitalizacijos procesas baigiamas po 1-1,5 tūkst. kilometrų ridos.

Ekspperimentinių tyrimų metu kompresimetro pagalba buvo matuojami „Fiat Doblo“ dyzelinio variklio kompresijos pokyčiai. Automobilio variklio cilindro kompresijos matavimai buvo atliekami po 3 kartus (Baltėnas ir kt., 1998). Gauti duomenys susisteminti ir apdoroti „Microsoft Excel 2016“ programa.

Variklio galios matavimams atlikti buvo naudotas būgninis automobilių galios matavimo stendas. Galios matavimo bandymai, automobiliui „FIAT Doblo“ buvo atlikti 4 pavara, nuo 50 km/h iki 160 km/h greičio diapazone, stendo pagalba sukuriant apkrovą. Sukimo momento ir galios matavimai buvo atliekami prieš alyvos priedo naudojimą, ir po pilnos variklio regeneracijos po alyvos priedo naudojimo.

Vidutinių degalų sąnaudų parametrams registruoti, prieš priedo naudojimą variklyje ir po buvo naudojamas iOBD2 diagnostikos prietaisas.

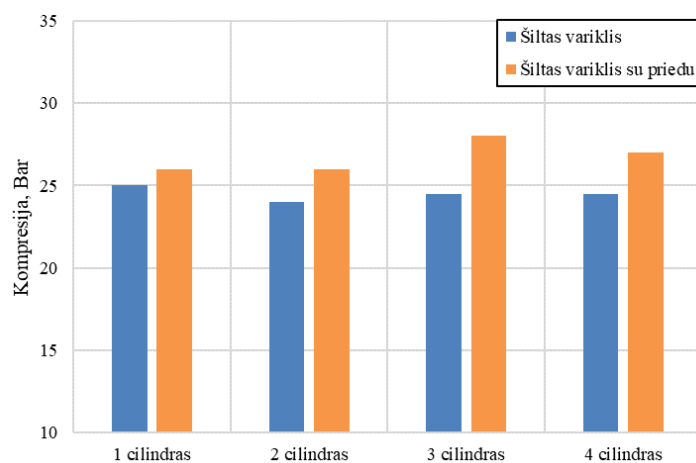
Degimo proceso metu susiformavęs anglies viendeginis (CO), anglies dvideginis (CO₂), azoto oksidai (NO_x) ir dūmingumas (D) buvo matuojami deginių analizatoriumi „Testo“ XL 350“. Variklis buvo pašildytas iki darbinės temperatūros. (alyvos temperatūra buvo 85 – 95 °C, o aušinimo skysčio 80 – 90 °C). Matavimai

buvo atlikti varikliui dirbant tuščia eiga ir esant 2000 min^{-1} sūkių dažniui. Varikliui veikiant nusistovėjusiais režimais buvo fiksuojama išmetamųjų dujų emisija ir dūmingumas. Statistiškai apdorojus gautus duomenis, buvo sudaryti išmetamųjų deginių emisijos grafikai.

Tyrimo rezultatai

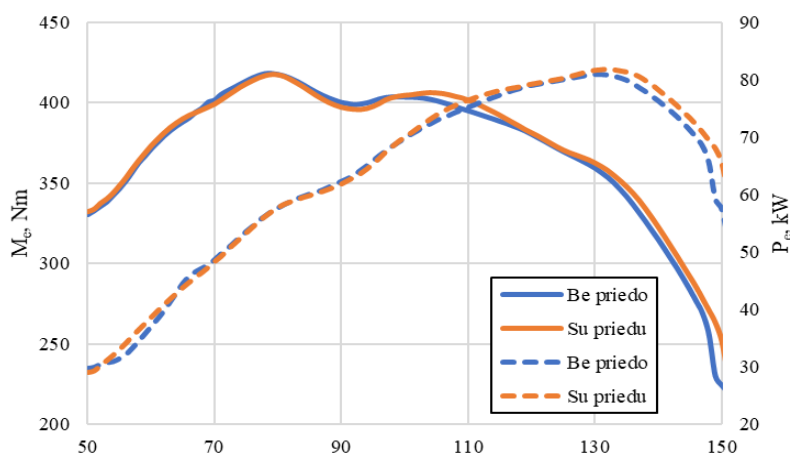
Vidaus degimo variklio ilgaamžiškumas ir patikimumas iš esmės priklauso nuo to, ar esant visiems darbo režimams tarp slydimo paviršių yra pakankamai tvirta alyvos plėvelė. Slėgis cilindre suslėgimo takto pabaigoje dar vadinamas variklio kompresija. Variklio kompresija apibūdina didžiausią slėgį, kurį gali sukelti stūmoklis judėdamas variklio cilindre. Bendrą variklio stovį nustatyti galima išmatuojant kompresiją, tai puiki integralinė variklio charakteristika. Eksperimentiniuose tyrimuose buvo fiksuota kompresija cilindruose prieš alyvos priedo naudojimą ir po jo.

1 paveiksle pateikti šilto variklio, cilindrų kompresijos matavimo rezultatai. Pateiktame grafike matome, „Fiat Doblo“ dyzelinio variklio kompresijos pokyčius, esant šiltam varikliui. Iš pateiktų grafikų galime pamatyti, kad po regeneruojančio priedo naudojimo, visuose cilindruose kompresija buvo padidėjusi. Procentine išraiška 1 cilindre kompresija padidėjo 7,4 %, 2 cilindre 9,2 %, 3 cilindre 14,3 % ir 4 cilindre 10,2 %.



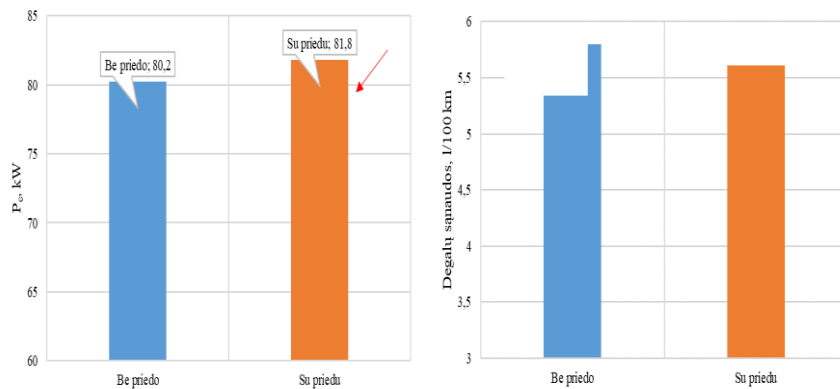
1 pav. „FIAT Doblo“ kompresijos matavimo rezultatai su kompresimetru, esant šiltam varikliui

Variklio bendra techninė būklė vertinama pagal galią, mechaninius nuostolius, deginių sudėtį ir temperatūrą, degalų sąnaudas ir dūmijimą. Variklio galia ir lyginamosios degalų sąnaudos yra pagrindiniai parametrai, rodantys variklio eksploatacines savybes. 2 pav. pateikti „FIAT Doblo“ automobilio galios ir sukimo momento matavimų kitimo rezultatai. Atlikus matavimus galios pokytis pastebimas piko metu. Didžiausias galios matavimo skirtumas siekė 2 % (3 (a) pav.). Nežymius galios ir sukimo momento pakitimus, patvirtina ir kitų autorių gauti tyrimų rezultatai (Calabokis, et al., 2022).



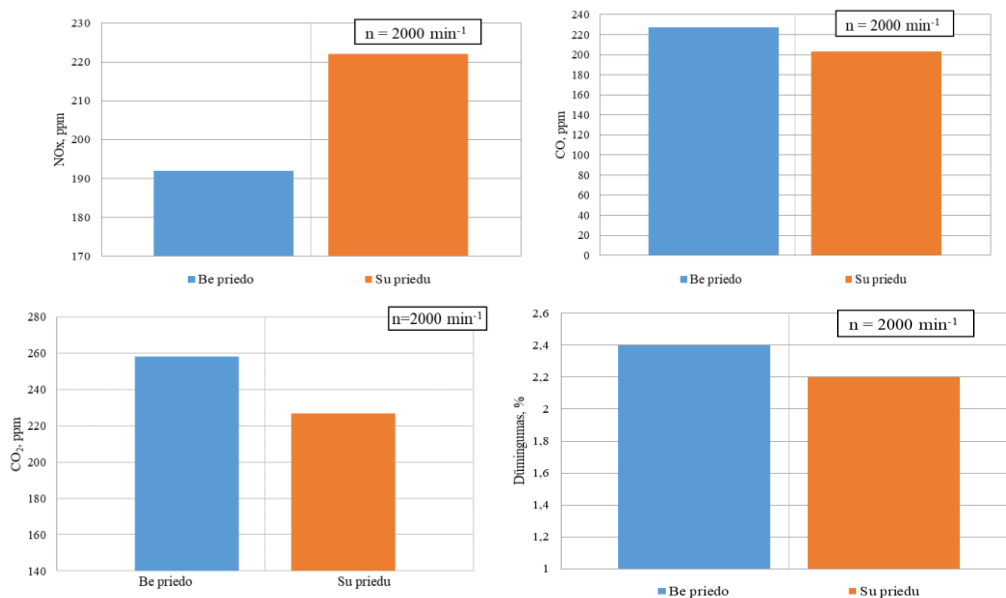
2 pav. „FIAT Doblo“ automobilio galios ir sukimo momento matavimų kitimo rezultatai

Kaip matyti, 2 pav. „sukimo momento kitimo rezultatuose po variklį regeneruojančio alyvos priedo naudojimo, kreivė tapo tolygesnė, nei prieš alyvos priedo naudojimą, kas parodo tolygesnį variklio darbą.



3 pav. „FIAT Doblo“ automobilio galios ir degalų sąnaudų kitimo rezultatai

Prieš ir po priedo naudojimo, buvo stebimos vidutinės „FIAT Doblo“ automobilio degalų sąnaudos mieste, važiuojant darbo dienomis tuo pačiu maršrutu ir tokiu pat stiliumi. Analizuojant, gautus duomenis buvo pastebėta, kad degalų sąnaudos po alyvos priedo naudojimo gautos 3,2 % mažesnės (3 (b) pav.). Tai paaiškinama padidėjusia kompresija ir pagerėjusiu degimu, reikalaujančiu mažiau degalų tam pačiam energijos kiekiui išgauti.



4 pav. „FIAT Doblo“ automobilio deginių emisijos ir dūmingumo kitimo rezultatai

„FIAT Doblo“ dyzelinio variklio azotų oksidų (NO_x) emisijos kitimas, prieš regeneruojančio alyvos priedo naudojimą ir po jo pateiktas (4 pav.) Naudojant alyvos priedą į dyzelinį variklį, azotų oksidų emisija, esant 2000 min^{-1} sūkių dažniui 15,3 % padidėjo. Tai paaiškinama alyvos priedo naudojimo atveju. Iš pateikto, 1 paveikslo matyti, kad panaudojus alyvos priedą padidėjo variklio cilindų kompresija, tuo pačiu didėja cilindre temperatūra, gerėja degimas, tačiau to eigoje didėja išmetamų azoto oksidų kiekis.

4 paveiksle pateikti „FIAT Doblo“ dyzelinio variklio anglies viendeginio (CO) emisijos kitimas, varikliui veikiant 2000 min^{-1} sūkių dažniui. Galima pastebėti, kad naudojant variklinį alyvos priedą, CO emisija 10,2 % buvo gauta mažesnė.

Dyzelinio variklio anglies dvideginio (CO_2) emisijos kitimas, varikliui veikiant 2000 min^{-1} sūkių dažniui, prieš regeneruojančio alyvos priedo naudojimą ir po jo, pateiktas 4 paveiksle. Naudojant alyvos priedą į variklį, CO_2 emisijos kiekis išmetamosiose dujose sumažėjo 13,7 %.

„FIAT Doblo“ dyzelinio variklio dūmingumo kitimo rezultatai, prieš regeneruojančio alyvos priedo naudojimą ir po jo, pateikti 4 paveiksle. Iš pateiktų grafikų matyti, kad prieš alyvos priedo naudojimą dūmingumas buvo gautas didesnis. Supylus alyvos priedą į variklį ir su juo pravažiavus revitalizacijos proceso ridą, dūmingumas sumažėjo 9,1 %, varikliui dirbant 2000 min^{-1} sūkių dažniu.

Išvados

1. Įvertinus tepimo sistemos ilgaamžiškumui įtakojančius veiksnius, galima teigti, kad naudojami alyvos priedai sumažina trintį ir prailgina mechanizmų veikimo laiką, tačiau mokslinių tyrimų, patvirtinančių jų realią įtaką variklio eksploatacinėms savybėms, rezultatų trūkumas rodo, kad būtini tolesni, išsamūs ir patikimi bandymai, siekiant objektyviai įvertinti jų efektyvumą ir ilgalaikį poveikį variklio darbui.

2. Naudojant regeneruojantį alyvos priedą, dyzelinio variklio kompresija padidėjo, atitinkamai, 1 cilindre 8 %, 2 cilindre 12,5 %, 3 cilindre 12 % ir 4 cilindre 16 %.

3. Regeneruojančio alyvos priedo naudojimo atveju, variklio galios ir sukimo momento rezultatuose, pasikeitusių reikšmingų reikšmių pastebėta nebuvo. Varikliui išdirbus su regeneruojančio alyvos priedu, matomas 2% galios padidėjimas, tačiau tam galėjo turėti įtakos ir galios stendo paklaidos variacijos.

4. Dyzeliniam varikliui dirbant su regeneruojančiu alyvos priedu, vidutinės degalų sąnaudos buvo išmatuotos 3,2 % mažesnės.

5. Esant 2000 min^{-1} sūkių dažniui, panaudojus regeneruojantį alyvos priedą, azotų oksidų emisija 15,3 % padidėjo, tuo tarpu anglies viendeginio emisija 10,2 % sumažėjo.

6. Varikliui dirbant 2000 min^{-1} sūkių dažniu ir naudojant alyvos priedą, dyzelinis variklis dūmino 9,1 % mažiau, palyginus su naujos alyvos be priedo naudojimo atveju.

Literatūra

1. Akbiyik, T., Kahraman, N. A. F. İ. Z., & Taner, T. (2022). Investigation of the effect of boron additive to lubricating oil on engine performance, exhaust, and emissions. *Fuel*, 312, 122931.
2. Akbiyik, T., Kahraman, N., & Taner, T. (2022). Investigation of the effect of boron additive to lubricating oil on engine performance, exhaust, and emissions. *Fuel*, 312, 122931.
3. Alqahtani, B., Hoziefa, W., Abdel Moneam, H. M., Hamoud, M., Salunkhe, S., Elshalakany, A. B., ... & Davim, J. P. (2022). Tribological performance and rheological properties of engine oil with graphene nano-additives. *Lubricants*, 10(7), 137.
4. Aulin, V., Hryniv, A., Lysenko, S., Lyashuk, O., Zamota, T., & Holub, D. (2019). Studying the tribological properties of mated materials C61900-A48-25BC1. 25BNo. 25 in composite oils containing geomodifiers.
5. Besser, C., Agocs, A., Ristic, A., & Frauscher, M. (2022). Implementation of Nitration Processes in Artificial Ageing for Closer-to-Reality Simulation of Engine Oil Degradation. *Lubricants*, 10(11), 298.
6. Calabokis, O. P., de la Rosa, Y. N., Borges, P. C., & Cousseau, T. (2022). Effect of using a metal conditioner in performance, fuel consumption, and powertrain wear of new small-capacity motorcycles.
7. Cyriac, Febin, et al. "Influence of base oil polarity on the tribological performance of surface-active engine oil additives." *Tribology Letters* 69.3 (2021): 87.
8. Yao, T., Zhang, N., Hu, J., Liao, X., Shen, Y., & Gan, Z. (2020). Effect of temperature on the chemical composition and physicochemical properties of diester aviation lubrication oil. *International Journal of Chemical Engineering*, 2020(1), 8829206.
9. Kim, K., Si, W., Jin, D., Kim, J. H., Cho, J., Baek, S., ... & Park, S. (2020). Characterization of engine oil additive packages on diesel particulate emissions. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34, 931-939.
10. Wong, V. W., & Tung, S. C. (2016). Overview of automotive engine friction and reduction trends—Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies. *Friction*, 4, 1-28.

INFLUENCE OF OIL ADDITIVE ON ENGINE PERFORMANCE

Summary

The article analyses the influence of oil additive on diesel engine performance. In order to achieve the longest possible engine life, the oil must preserve its active substances and characteristics. The oil needs to exhibit excellent adhesion to the surfaces of components, creating a durable film, effectively removing contaminants, and providing lubrication across a wide temperature spectrum. To ensure the oil maintains its performance characteristics, each manufacturer specifies a recommended oil replacement interval. As the chemical industry increasingly affects daily life, another alternative to engine maintenance is being offered - oil additives. According to many manufacturers of these additives, under extreme lubrication conditions and at high pressures and high temperatures, this mixture diffuses into the metal surface. At high pressures and high temperatures, a ceramic layer is formed from the components of the oil additive. This layer partially compensates for the wear of the cylinder surfaces and reduces the gap between the piston and the cylinder. The research aim was to evaluate the influence of regenerating oil additive on engine performance. Experimental test showed an increase in engine compression, engine average fuel consumption decreased by 3.2%, after using the regenerative oil additive. Major changes were observed in the engine power and torque results. At engine speed of 2000 rpm, after using the regenerating oil additive, the emission of nitrogen oxides increased by 9.1%, and the emission of carbon monoxide decreased by 10.2%.

KROVININIŲ AUTOMOBILIŲ VAŽIUOKLĖS KOMPONENTŲ DĖVĖJIMOSI LYGIŲ VERTINIMO TEORINIAI IR PRAKTINIAI ASPEKTAI

Pijus Kairys, Marius Mažeika
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Krovininio automobilio važiuoklė, o labiausiai jos sudedamoji dalis - vairavimo sistema, yra mechanizmas, atsakingas už saugų ir efektyvų krovinų gabenimą (Polat, 2024). Krovininiai automobiliai yra naudojami intensyviai ir įvairios būklės keliais. Laiku nepastebėjus važiuoklės komponentų gedimų, rizikuojama žmonių gyvybėmis ir dideliais kaštais. Dalis automobilių sistemų, tokios kaip ABS, EBS, ekologinės sistemos, gali diagnozuotis pačios. Tikėtina, kad tokie važiuoklės komponentai kaip vairavimo sistema ateityje turės galimybių dalį savo komponentų diagnozuotis pačios ir informuoti vairuotoją ar automobilį prižiūrinčią įmonę telemetrijos pagalba apie parametrų pakitimus sistemoje. Tačiau šiuo metu vairavimo sistemos būklės vertinimą galima atlikti tik su specialisto pagalba. Pagal gautus tyrimų duomenis galima daryti prielaidas apie vairavimo sistemos diagnostikos dažnumo poreikį.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Važiuoklė, skersinė traukė, vairavimo sistema, vertinimas.

Įvadas

Kasmet dėl kelių eismo įvykių žūsta apie 1,19 milijono žmonių. Dar 20–50 milijonų žmonių patiria nemirtinus sužalojimus, dalis jų lieka neįgalūs (World Health Organization, 2023). Dalies šių įvykių priežastis yra netvarkinga ar netinkamai prižiūrima transporto priemonės važiuoklė. Krovininio automobilio važiuoklės, o ypač vairavimo sistemos gedimai dažnai baigiasi tragiškai. Pasaulyje jau yra viršytas 1 milijardo vienetų eksploatuojamų transporto priemonių skaičius. Vien Europoje iš viso užregistruota 35 milijonai sunkvežimių, o 2030 m. šis skaičius turėtų išaugti dar 17 procentų (Loof, 2015). Krovinių gabenimas keliais yra dominuojantis krovinų judėjimo vidaus rinkoje būdas Europos Sąjungos (ES) šalyse. 2021 m. keliais buvo transportuojama 24,6 % visų ES krovinų (Rygula, 2024). Efektyvus sunkvežimio darbas priklauso ne tik nuo variklio, bet ir nuo važiuoklės sistemos komponentų, kurie užtikrina stabilumą, valdomumą bei krovinio saugumą. Važiuoklės komponentų būklė lemia transporto priemonės ilgaamžiškumą, eismo saugumą bei eksploatacinius kaštus.

Sunkvežimių eksploatacija gali labai skirtis priklausomai nuo darbo aplinkos ir kelio sąlygų, todėl būtina reguliariai tikrinti ir prižiūrėti jų techninę būklę. Skirtingose eksploatacijos sąlygose veikiantys sunkvežimiai gali patirti skirtingus važiuoklės ir kitų komponentų dėvėjimosi lygius, todėl labai aktualu stebėti komponentų būklę ir užtikrinti tinkamo dažnumo techninę priežiūrą.

Taigi kyla probleminis klausimas: kaip kinta komponentų dėvėjimosi lygiai priklausomai nuo automobilio ridos ir darbo pobūdžio, siekiant užkirsti kelią gedimams, optimizuoti techninės priežiūros procesus ir užtikrinti patikimą krovininio automobilio veikimą.

Tikslas: Teoriniu ir praktiniu aspektu įvertinti krovininių automobilių važiuoklės komponentų dėvėjimosi lygius.

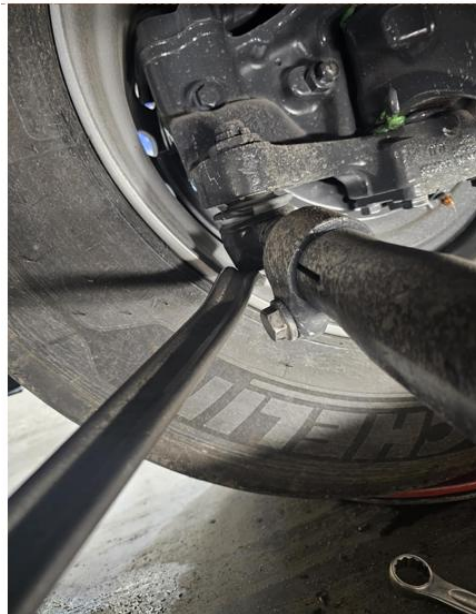
Uždaviniai :

1. Atlikti krovininio automobilio važiuoklės komponentų vertinimą kintant ridai.
2. Atlikti tyrimą, kokie krovininio automobilio važiuoklės parametrų nukrypimai yra dažniausiai pasitaikantys.
3. Ištirti sąlygas, kurioms esant krovininių automobilių naudotojai kreipiasi į remonto dirbtuves vairavimo sistemos remontui.

Teoriniai krovininių automobilių važiuoklės komponentų dėvėjimosi aspektai

Mokslinėje literatūroje automobilių važiuoklės komponentų vertinimas atliekamas skirtingais aspektais, priklausomai nuo automobilio rūšies. Pavyzdžiui, atlikti tyrimai apie lengvųjų automobilių gedimus atkleidė, kad viena iš dažniausiai gendančių detalių yra skersinė vairo traukė (Wozniak, 2022). Daugybė metų yra tiriamos priežastys, lemiančios vairo sistemos komponentų gedimus, nes šie gedimai yra labai pavojingi. Mokslininkų tyrimai su visureigiais (SUV) važiuoklėmis parodo, kad vairavimo sistemos komponentai genda dėl didesnių apkrovų, atsiranda metalų nuovargis ir įtrūkimai. Mokslininkai pastaruosius gedimus sieja ir su netinkamu medžiagų parinkimu ir terminiu apdorojimu (Falah, 2007). Mokslininkai visame pasaulyje bando rasti metodus, kaip prailginti vairavimo sistemos traukių tarnavimo laiką. Moksliniai tyrimai yra atliekami naudojant įvairius medžiagų mišinius gaminant komponentus bei judančių dalių tepimui naudojant įvairius tepalų priedus (Wozniak, 2022). Vairavimo sistemos traukių diagnostikos galimybės yra nuolatos tobulinamos ir mokslininkai šioje srityje daro išradimus (Alaraji, 2024), bet automobilių servisuose dar tenka pasikliauti

žmogiškaisiais resursais, užtikrinant tinkamą šių komponentų patikrą. Pakabos komponentų parametrus galima vertinti vizualiai, pagal skleidžiamą garsą, bandomuoju važiavimu, naudojant pakabos tikrinimo standus ar vibracijų jutiklius ant pakabos komponentų (Balaji, 2023). Jeigu vizualiai randama pažeista detalė, tai ji turi būtinai būti pakeista, nes dėl parametų pokyčio pasikeičia transporto priemonės ratų padėtis. Pagal skleidžiamą garsą galima nustatyti, kurioje transporto priemonės pusėje yra gedimas. Jeigu transporto priemonės važiuoklė neskleidžia pašalinių garsų, vizualiai nesimato pažeidimų, tai transporto priemonė pakeliama ir ieškoma laisvumų važiuoklės sandaroje. Automobilį pakėlus, pakabos komponentai sustoja ne savo darbinėse padėtyse, todėl ne visada galima pastebėti laisvumus. Dėl šių priežasčių krovininiai automobiliai dažniau tikrinami naudojantis garažų duobėmis, ratams esant darbinėje padėtyje ant tikrinimo standų (1 pav.).



1 pav. Krovininio automobilio Scania P450 skersinės traukės vertinimas

Šaltinis: sudaryta autorių

Statybų aikštelėse ar miškininkystės darbuose naudojami sunkvežimiai dažnai veikia nelygiais, blogos būklės keliais, kur didesni smūgiai ir apkrovos gali sukelti greitesnį pakabos, vairavimo sistemos ir kitų važiuoklės komponentų nusidėvėjimą. Tokiose sąlygose dirbantys sunkvežimiai turi dažniau lankytis remonto dirbtuvėse, kad būtų patikrinta pakabos būklė ir atlikti reikiami taisymai, kad būtų išvengta didesnių gedimų. Netinkamos būklės važiuoklės komponentai pakeičia ratų geometriją, kas gali padidinti degalų sąnaudas iki 10 proc. (Das, 2019), o tai padidina ir išmetamųjų dujų kiekius. Dėl blogo ratų suvedimo vieno krovininio automobilio CO₂ išmetamas kiekis gali padidėti 60 t. per metus (Valverde, 2019).

Ilgų nuotolių pervežimuose, kur krovininiai automobiliai važiuoja geresnės kokybės keliais, pakabos komponentai dėvisi lėčiau, tačiau čia svarbu užtikrinti, kad važiuoklė atitiktų gamintojo numatytus parametrus. Tokie sunkvežimiai gali reikalauti mažiau dažnos priežiūros, tačiau techninės apžiūros vis tiek turi būti atliekamos reguliariai, kad būtų užtikrintas jų veikimo patikimumas, nes šie automobiliai didžiąją dalį kelionės važiuoja maksimaliu greičiu ir gedimo kelyje pasekmės gali būti tragiškos.

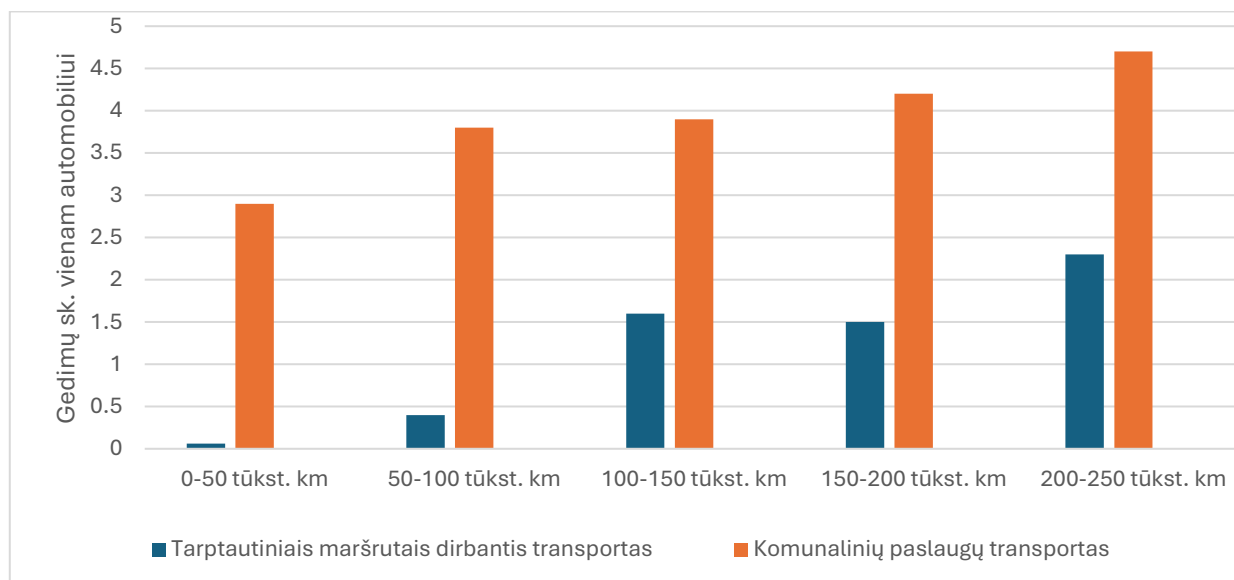
Tyrimo metodika

Tyrimui atlikti buvo pasitelktos krovininio transporto įmonių techninės priežiūros ir kokybės duomenų bazės. Iš viso buvo išanalizuotos keturių įmonių duomenų bazės. Analizės tikslas – rasti gedimų skaičiaus ir priklausomybę nuo ridos ir kelio būklės. Iš viso buvo įvertinti duomenys iš 158 vnt. N3 kategorijos automobilių, kurių vidutinė metinė rida buvo 114323 km. Automobilių parkai buvo sudaryti iš 3 skirtingų automobilių gamintojų modelių. Duomenų apdorojimui buvo naudojama SPSS (angl. Statistical Package for the Social Sciences) programinė įranga.

Važiuoklės komponentų vertinimas

Atlikus 4 skirtingų įmonių krovininio transporto diagnostikos duomenų analizę buvo nustatyta, kaip pasiskirsto važiuoklės komponentų gedimų dažnumas priklausomai nuo transporto darbų pobūdžio ir nuvažiuoto atstumo (2 pav.). Atlikus duomenų analizę nustatyta, kad daugiausiai važiuoklės komponentų gedimų nustatoma transporto priemonėse, kurios teikia komunalinių atliekų išvežimo paslaugas. Automobiliumi

įveikiant pirmuosius 50 tūkstančių kilometrų, jau tenka pakeisti ar remontuoti vidutiniškai 2,9 važiuoklės komponentus. Lyginant duomenis su transporto priemonių, kurios naudojamos transportuoti krovinius tarptautiniais maršrutais (vilkikai ir autovežiai) per tą patį nuvažiuotą atstumą, fiksuota tik 0,06 komponento, reikalaujančio pakeitimo ar remonto. Tokį rezultatą galima pagrįsti tuo, kad šie automobiliai važiuoja geresnės būklės keliais. Duomenis gali iškreipti tai, kad tarptautiniais maršrutais važiuojantis transportas labai retai būna savo techninėje bazėje (garaže) ir nuodugni diagnostika jiems nėra daroma. Tuo laikotarpiu yra fiksuojami tik telemetrijos duomenys, kurie labai retais atvejais gali užfiksuoti važiuoklės gedimus. Prie didesnės ridos (50 – 100 tūkstančių km) komponentų keitimo ir remonto skaičiai didėja iki 3,8 ir 0,4, bet tarptautiniais maršrutais važiuojančių sunkvežimių duomenys gali būti netikslūs, nes jie dar neturėjo pirmo techninio aptarnavimo, nes jiems alyva yra keičiama 100 ir 150 tūkstančių km ribose.



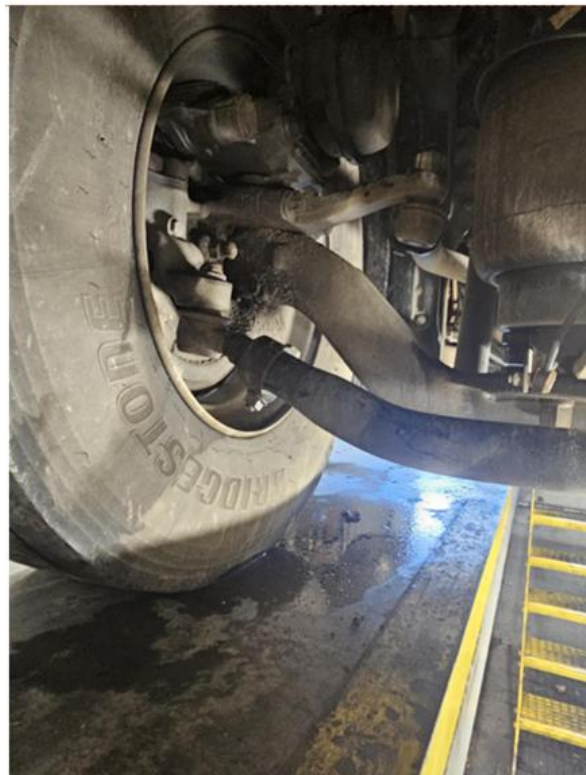
2 pav. Važiuoklės komponentų gedimų pasiskirstymo diagrama pagal sunkvežimio ridą

Šaltinis: sudaryta autorių

Esant ridai tarp 100 ir 150 tūkst. km gedimų skaičiai ženkliai šokteli, nes automobiliams atliekami techniniai aptarnavimai, per kuriuos ir nustatoma didžioji dalis važiuoklės gedimų. Kadangi buvo analizuojami N3 klasės automobiliai, o jiems privalomoji techninė apžiūra yra kas 12 mėn. (Transeksta, 2024), dalis gedimų buvo nustatyta būtent jos metu. Kai rida per 250 tūkst. km, automobiliams, dirbantiems tarptautiniais maršrutais, reikėjo remontuoti ar keisti vidutiniškai 5,86 komponento, o komunaliniam transportui per tą pačią distanciją - 19,5. Gautų duomenų palyginti su kitų mokslininkų rezultatais galimybės nėra, nes mokslinėje literatūroje tokio tipo tyrimų su N3 kategorijos automobiliais rezultatų su rasti nepavyko. Tikėtina, kad tokius tyrimus atlieka automobilių ir detalių gamintojai, bet duomenų neviešina.

Skersinė traukė ir jos analizė

Vienas iš dažniausiai fiksuotų krovininių automobilių važiuoklių gedimų analizuotose įmonėse buvo skersinės vairo traukės laisvumas. Iš visų fiksuotų važiuoklės gedimų ši traukė buvo 7,4 proc. atvejų (stabdžių sistemos dylančios dalys vertinamos nebuvo). Skersinė traukė (3 pav.) yra svarbus komponentas, kuris tiesiogiai veikia transporto priemonės valdomumą ir tuo pačiu - eismo saugumą. Pagal analizuotus įmonių duomenis, galima daryti prielaidą, kad šių traukių gedimai pirmiausiai pasireiškia transporto priemonėse, kurios naudojamos blogos būklės keliuose. Atsiradus vairavimo sistemos traukių laisvumams, pakinta automobilio ratų geometrija, o tai didina degalų sąnaudas, padangų dėvėjimąsi, apsunkina transporto priemonės valdomumą. Laiku neatlikus diagnostikos ir nesutvarkius gedimų, tai gali baigtis eismo įvykiu dėl sprokusios padangos, nesuvaldyto automobilio ir t.t. (Bohari, 2024). Padidėjusios degalų sąnaudos ir greičiau dylančios padangos didina transportavimo kaštus ir teršia aplinką (Aplinkos apsaugos agentūra, 2020).

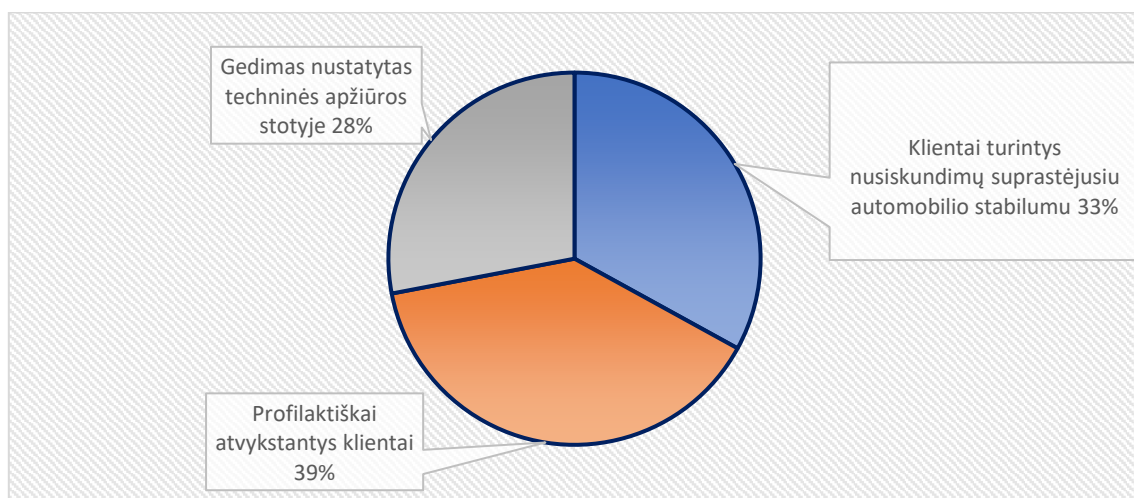


3 pav. Skersinė traukė
Šaltinis: sudaryta autorių

Skersinės traukės parametrų kitimas kroviniame automobilyje

Dažniausi nustatyti skersinės traukės gedimai yra susiję su:

- Jungiamųjų detalių nusidėvėjimu: ilgalaikis naudojimas ir didelės apkrovos gali lemti skersinės traukės jungiamųjų detalių, tokių kaip šarnyrai, guoliai ar tvirtinimo elementai, dėvėjimąsi. Detalių tarnavimo laikas labai priklauso ir nuo kitų važiuoklės komponentų būklės. Naudojant blogos kokybės padangas, netinkamai veikiančius amortizatorius, skersinės traukės resursas ženkliai greičiau eikvojamas. Tai gali sukelti netinkamą komponentų judėjimą ir pabloginti transporto priemonės valdomumo savybes.
- Apsauginių dalių pažeidimu. Jie dažniausiai atsiranda dėl sudėtingų eksploataavimo sąlygų ir nuo netinkamos priežiūros (pažeidimai valymo ir plovimo aukštu slėgiu metu). Esant šiam gedimui, tarp judančių šarnyrinio lanksto elementų patenka nešvarumai, išstumiamas tepalas, dėl ko komponente greitu metu atsiras laisvumas.
- Mechanškai pažeista (dažniausiai sulenкта) traukė. Tai dažniausiai atsitinka automobilį naudojant labai blogos būklės keliuose ar bekelėje (netvarkingose statybos aikštelėse ar panašiai).



4 pav. Transporto priemonių su skersinės traukės gedimais atvykimo į servisą priežasčių diagrama
Šaltinis: sudaryta autorių

Laiku nenustačius vairavimo sistemos gedimų ir neatlikus reikiamo remonto, bus gadinami kiti važiuoklės komponentai, o ilgiau neatlikus darbų automobilis gali tapti nevaldomas. Siekiant išvengti problemų dėl vairavimo sistemos gedimų, reikia atlikti automobilio vairavimo sistemos diagnostiką kiek galima dažniau. Atlikus tyrimą buvo nustatyta, jog dažniausiai (39%) skersinės traukės gedimai nustatomi krovininiam automobiliui atvažiavus atlikti profilaktinės patikros (4 pav.). Profilaktinė patikra dažniausiai atliekama pagal automobilių valdytojų sudarytą periodiškumą, jį derinant su automobilio gamintojo rekomendacijomis. Dažnu atveju periodiškumas derinamas su variklio alyvos keitimo intervalu. Krovininių automobilių variklių alyvos keitimo intervalas siekia 150000 km, o naujausių automobilių modelių - ir 200000 km (DAF, 2024); tad pakankamai dažniais atvejais automobilis gali dalyvauti eisme su netinkamos būklės traukėmis.

Norint didesnio saugumo keliuose, reikalingas dažnesnis profilaktinis traukių tikrinimas. Tai gali atlikti ir automobilių vairuotojai, kurie prieš tai turėtų būti supažindinami su tikrinimo procedūra (Skerlic, 2020). 4 pav. pateikta transporto priemonių su skersinės traukės gedimu atvykimo į servisą priežasčių diagrama.

Apibendrinant tyrimo duomenis galima teigti, kad važiuoklės gedimų skaičius yra priklausomas nuo automobilių darbo pobūdžio ir nuo ridos. Šio tyrimo pagrindu, būtų galima tęsti tyrimus platesniame ridų diapazone ir nustatant konkrečių važiuoklės komponentų saugias naudojimo ribas (pagal ridą), taip optimizuojant važiuoklės diagnostikos ir techninės priežiūros procesus.

Išvados

1. Atlikus krovininio automobilio važiuoklės komponentų vertinimą kintant ridai nustatyta, kad tarptautiniais maršrutais dirbantiems automobiliams per 250 tūkst. km buvo remontuota ar pakeista vidutiniškai po 5,86 važiuoklės komponento, o komunalines paslaugas teikiančiam automobiliui per tą patį nuvažiuotą atstumą - 19,5.

2. Atlikus tyrimą nustatyta, kad tirtuose automobiliuose iš važiuoklės komponentų dažniausi teko keisti arba remontuoti skersinę vairo traukę - 7,4 proc. iš visų keistų ar remontuotų važiuoklės komponentų.

3. Išanalizavus duomenis buvo nustatyta, jog 39 proc. skersinės traukės gedimai nustatomi krovininiam automobiliui atvažiavus atlikti profilaktinės patikros, 33 proc. automobilių naudotojai pastebėjo gedimus, 28 proc. traukės gedimų buvo nustatyta privalomos techninės apžiūros metu.

Literatūra

1. Alaraji, Y., Alp, S. (2024). An investigation into vibration analysis for detecting faults in vehicle steering outer tie-rod, *Acta IMEKO*, vol. 13 (2024) no. 1, pp. 1-9. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: 10.21014/acta_imeko.v13i1.1742
2. Aplinkos apsaugos agentūra. (2020). Oro tarša Lietuvoje. Į aplinkos orą išmetamų teršalų analizė ir pasiskirstymas ūkio sektoriuose 2005-2018 m., Informacinė santrauka, Vilnius.
3. Balaji P. A., Venkatesh S., N, V., S. (2023). Fault Diagnosis of Suspension System Based on Spectrogram Image and Vision Transformer. *Eksplotacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability 2024*: 26(1). [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://doi.org/10.17531/ein/174860>.
4. Bohari, A. A., Mohammad Hafiz, M. F. H., Sim, S. Y., Jamal, N., Mohd Talib, M. N., & Mohd Safuan, S. N. (2024). Development of Automobile Wheel Smart Alignment Monitoring System. *PaperASIA*, 40(5b), 28–35. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.59953/paperasia.v40i5b.205>
5. DAF. (2024). New Generation DAF XF, XG and XG+. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.daf.co.uk/en-gb/trucks/new-generation-daf>
6. Das, R. K., Hossain, M. A. M., and Islam, M. T., and Banik, S. C. (2019). Experimental study on wheelalignment system and fuel performance for light vehiele, *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy, (ICMERE2019)*, Chittagong, Bangladesh, December11 – 13, 2019. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n3-054>
7. Falah, A. H., Alfares M. A. and Elkholy, A. H. (2007). Failure investigation of a tie rod end of an automobile steering system, *Engineering Failure Analysis*, 2007,5, 895-902.
8. Loof J., Besselink I., Nijmeijer H. (2016) Component based modeling and validation of a steering system for a commercial vehicle, *The Dynamics of Vehicles o Roads and Tracks IAVSD 2015* 15-24. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1201/b21185-4>
9. Polat, K., Topaç, MM., Çoban, U. (2024). Effect of Design Parameters on Buckling Tendency of an Eccentric Drag Link Used in a Truck S teering Linkage: A DoE/RSM-Based Design Optimisation Study. *International Journal of Automotive Science and Technology*. 2024; 8(3): 387-396. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://d x.doi.org/10.29228/ijastech..1484736>

10. Rygūla, A., Brzozowski, K. A. (2024). Study of Heavy Road Freight Transport in Poland in the Context of the Pursuit of Sustainable Road Transport. *Sustainability* 2024, 16, 9364. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su16219364>
11. Škerlić S, Sokolovskij E, Erčulj V. (2020). Maintenance of heavy trucks: an international study on truck drivers. *Eksplotacija i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2020; 22 (3): 493–500, [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.3.12>.
12. Transeksta. (2024). Lietuvos techninės apžiūros įmonių asociacija, Periodiškumas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.vta.lt/privalomoji-technine-apziura/aktuali-informacija/periodiskumas>
13. TRW Automotive. (2002). Commercial Steering Systems, Steering Diagnostics Service Manual, 2002, [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.trwaftermarket.com/globalassets/na/trucksteering---literature/other-manuals/other-manuals-sm/trw1250.pdf>
14. Valverde, V., Mora, B. A., Clairotte, M., Pavlovic, J., Suarez-Bertoa, R., Giechaskiel, B., Astorga-Llorens, C., & Fontaras, G. (2019). Emission Factors Derived from 13 Euro 6b Light-Duty Vehicles Based on Laboratory and On-Road Measurements. *Atmosphere*, 10(5), 243. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/atmos10050243>
15. World Health Organization. (2023). Road traffic injuries, [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
16. Wozniak, M., Rylski, A., Siczek, K. (2022). The Measurement of the Wear of Tie Rod End Components. *Strojnicki vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 2022, 68(2):101-113, [interaktyvus]. [žiūrėta 2024 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.5545/sv-jme.2021.7389>

THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS EVALUATING THE LEVEL OF TRUCK CHASSIS COMPONENT WEARING

Summary

The chassis of a cargo vehicle and its most important component, the steering system, are mechanisms responsible for the safe and efficient transportation of goods. Cargo vehicles are used intensively and on roads of various conditions. Failure to notice chassis component faults in time can lead to risks with human lives and high expenses. Some vehicle systems, such as ABS, EBS, and ecological systems, can diagnose themselves. It is likely that chassis components such as steering system will be able to diagnose some of their components themselves in the future and inform the driver or the company maintaining the vehicle via telemetry about parameter changes in the system. However, at present, the evaluation of the steering system condition can only be carried out with the help of a specialist. Researches have shown that the nature of the vehicle operation has a significant impact on the number of chassis failures. The chassis served much more reliably in vehicles that operated on highways compared to vehicles that were used for municipal services. In the analysed cargo vehicles, the most common failure in the chassis was faulty tie rod. Based on the obtained research data, assumptions can be made about the need for the frequency of steering system diagnostics.

STABDŽIŲ TRINKELIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Tomas Mickevičius, Vytautas Kryžius

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Stabdžiai yra mechaniniai transporto priemonės įtaisai, skirti sulėtinti arba visiškai sustabdyti transporto priemonę. Stabdymo metu dėl trinties kinetinę energiją yra paverčiant šilumine energija. Stabdžiai yra esminė automobilių saugos priemonė atliekanti lemiamą vaidmenį užtikrinant saugias vairavimo sąlygas. Straipsnyje analizuojamos skirtingų gamintojų stabdžių trinkelės eksploatacinės savybės. Bandymo metu tiriamos tai pačiai transporto priemonei skirtos šešių skirtingų gamintojų stabdžių trinkelės. Bandymai atliekami su stabdžių trinkelės bandymo stendu „GARLING“, išlaikant tas pačias bandymo sąlygas visoms tiriamoms stabdžių trinkelėms. Tyrimo metu fiksuojami stabdžių trinkelės trinties koeficiento μ_{op} , μ_{min} , μ_{max} reikšmės, trinties koeficiento kitimas ciklo metu μ_{vid} , trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros ir dilumo koeficientas mm^3/MJ . Įprastomis važiavimo sąlygomis stabdžių diskų ir trinkelės temperatūra gali svyruoti nuo 100 °C iki 300 °C. Stipriai ar ilgai stabdant, temperatūra gali pakilti ir virš 400 °C. Tyrimo metu, buvo pastebėta, kad stabdymo metu T4 stabdžių trinkelės pasiekė žemą 510,97 °C temperatūrą ir turėjo mažėjantį trinties koeficientą μ nuo 0,413 – 0,250 ribose. Iš gautų tyrimo rezultatų daroma išvada, kad rinkoje esančių stabdžių trinkelės kokybės skirtumai kelia susirūpinimą kokiomis eksploatacinėmis sąlygomis jos bus naudojamos.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Stabdžių trinkelės, trinties koeficientas, stabdžiai.

Įvadas

Stabdžių sistema skirta važiuojančių mašinų greičiui sumažinti arba visiškai jas sustabdyti bei laikyti stovinčias. Stabdžių trinkelės eksploatacinių savybių tyrimas yra labai svarbus automobilių saugos ir eksploatacinių savybių kontekste (Filip Ilie Andreea ir kt., 2023). Stabdžių trinkelės yra labai svarbi transporto priemonės stabdžių sistemos sudedamoji dalis, kuri atsakinga už transporto priemonės lėtėjimą, kai kinetinė energija paverčiama šilumine energija (Celia Alves, ir kt. 2021). Stabdžių trinkelės kokybė ir eksploatacinės savybės daro tiesioginę įtaką transporto priemonių saugai (M. Sunil ir kt., 2023).

Vystantis automobilių technologijoms, didėja poreikis įvertinti stabdžių trinkelės eksploatacines savybes. Tai apima tokius veiksnius kaip stabdymo efektyvumas, nusidėvėjimo charakteristikos, triukšmo lygis, terminis stabilumas (Agustinus Purna Irawan ir kt., 2022). Stabdžių trinkelės eksploatacinių savybių tyrimas yra aktualus ne tik iš tradicinės automobilių inžinerijos perspektyvos, bet ir atspindi šiuolaikinius rūpesčius, susijusius su tvarumu (Jens Wahlsrom ir kt. 2020). Įvairių rinkoje esančių stabdžių trinkelės kokybės skirtumai kelia didelių problemų tiek vartotojams, tiek automobilių pramonės profesionalams (Kennethas M ir kt., 2024). Nors kai kurios stabdžių trinkelės pasižymi dideliu našumu ir ilgaamžiškumu, kitos gali neatitikti kokybės standartų ir stabdymo veiksmingumo, dėl ko gali kilti pavojus eismo saugumui (Hitesh Bhakuni ir kt., 2023).

Skirtingo gamintojo stabdžių trinkelės, susideda iš įvairių trinties medžiagų. Remiantis jų funkcionalumu, šios neapdorotos trinties medžiagos gali būti suskirstytos į keturias kategorijas: trinties modifikatoriai, stiprikliai, užpildai ir rišamosios medžiagos (Hitesh Bhakuni ir kt., 2023).

Šiuo tyrimu siekiama palyginti skirtingų gamintojų stabdžių trinkeles, įvertinant jų teigiamas ir neigiamas savybes. Išsamiai analizuojant šiuos aspektus, siekiama suteikti vertingų įžvalgų vartotojams ir pramonės specialistams apie rinkoje esančių stabdžių trinkelės kokybę ir ilgaamžiškumą. Ši išsami analizė padės priimti pagrįstus sprendimus renkantis tinkamas stabdžių trinkeles, konkrečioms transporto priemonėms ir važiavimo sąlygoms.

Tyrimo objektas: stabdžių trinkelės eksploataciniai parametrai.

Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų gamintojų stabdžių trinkelės eksploatacinės savybės.

Tiksliui pasiekti buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Apžvelgti stabdžių trinkelės stabdymo efektyvumo aspektus;
2. Atlikti skirtingų gamintojų stabdžių trinkelės bandymus;
3. Įvertinti tirtų stabdžių trinkelės eksploatacinius parametrus.

Siekiant išspręsti iškeltus darbo uždavinius buvo pritaikyti indukcijos ir dedukcijos, abstrahavimo, empiriniai, analizės ir sintezės tyrimo metodai.

Teoriniai stabdžių trinkelės stabdymo efektyvumo aspektai

Pagrindinė stabdžių funkcija yra sulėtinti arba visiškai sustabdyti važiuojančią transporto priemonę. Paspaudus stabdžių pedalą, stabdžių sistema įsijungia, spausdama stabdžių trinkeles prie stabdžių diskų (diskiniuose stabdžiuose) arba prie stabdžių būgnų (būgniniuose stabdžiuose). Ši trintis sulėtina ratus, galiausiai priversdama transporto priemonę sustoti. Stabdymo proceso metu trintis tarp stabdžių disko ir

kaladėlių sukelia šilumą, kurios išsklaidymas priklauso nuo geometrijos ir gamybos medžiagų. Todėl stabdžių diskas staigaus stabdymo metu, per trumpą laiką gali sukaupti dideli šilumos kiekį. Esant tokioms sąlygoms, stabdžių sistemos funkcionalumas ir saugumas gali būti pažeistas (Celia Alves, ir kt. 2021).

Trinties ir dilimo savybės įtakoja kaip pluoštai yra išdėstyti ir sujungti su matrica, Pluoštų ilgis, skersmuo taip pat turi įtakos, kaip gerai jie gali sugerti šilumą ir ją perduoti nuo frikcinės medžiagos paviršiaus. Frikcinės medžiagos struktūra gali turėti įtakos medžiagos poringumui ir pralaidumui, o tai savo ruožtu gali turėti įtakos jos gebėjimui sugerti ir išsklaidyti šilumą. Todėl labai svarbu pasirinkti pluoštus su tinkamais rišikliais optimizuoti jų struktūrą frikcinėje medžiagoje, kad būtų užtikrintas efektyvus stabdymo efektyvumas ir ilgaamžiškumas.

Frikcinės medžiagos yra labai svarbios stabdžių sistemų sudedamosios dalys, kurios sukelia trintį, kad sulėtintu arba sustabdytu transporto priemonę. Šios medžiagos yra suprojektuotos taip, kad atlaikytų aukštą temperatūrą esant dideliui slėgiui. Stabdžių trinkelė su trinties medžiagomis tyrimuose daugiausia dėmesio skiriama įvairiems aspektams, tokiems kaip medžiagos sudėtis, eksploatacinės charakteristikos, ilgaamžiškumas ir stabdymo efektyvumas. Mokslininkai savo tyrimo išvadose atskleidė kad, siekiant pagerinti trinties medžiagų nusidėvėjimo problemą, kurią sukelia didelio kietumo trinties didinimo užpildai, buvo pridėta fluorito į frikcinės medžiagos formulę. Fluorito poveikis trinties medžiagų fizinėms, mechaninėms, trinties ir šiluminėms savybėms buvo ištirtas naudojant įvairius metodus. Bandymas parodė, kad fluoritas gali sukelti cheminę adsorbciją fenolio derva, leidžiančią efektyviai padidinant sukibimą ir sumažinant nusidėvėjimą. Fluoritas gali padidinti trinties medžiagų šiluminį stabilumą, slopinti fenolinių dervų skilimą ir pagerinti stabdžių trinkelėlių vientisumą stabdant. M. Polajnar ir kt susidėvėjusio paviršiaus tyrimai rodo, kad fluoritas padidina trinties koeficientą. Be to, trinties proceso metu susidaręs oksido sluoksnis stabilizuoja trinties koeficientą (Shang et al., 2022). Kitų autorių pateiktoje tyrimo išvadoje, teigiama, kad Fe–Si modifikacija gali efektyviai pagerinti stabdžių poros atsparumą dilimui, todėl abiejų diskų / trinkelėlių nusidėvėjimas yra daug mažesnis nei nemonifikuotos stabdžių poros. Įvedus tinkamą Fe–Si fazės kiekį, sumažėja nusidėvėjimas, tačiau yra šiluminio koeficiento sumažėjimas (Huang et al., 2024). Mokslininkai pateikė rezultatus, tyrinėdami metalo sulfidu dengtų plieno pluoštų įtaką stabdžių trinkelėlių trinties kompozitų trinties ir dilimui. Tyrime nustatyta, kad SF bandinyje trinties koeficientas laikui bėgant sumažėja, o temperatūros vertės padidėja. Tai rodo blogėjančias SF stabdžių trinkelėlių savybes esant aukštai temperatūrai. Be to, SF stabdžių trinkelėlių temperatūra greitai pasiekia didžiausią ciklo ribą (289 °C), palyginti jas su stabdžių trinkelėmis kuriuose yra sulfidu padengtų plieno pluoštų (Vijay et al., 2022).

Stabdžių trinkelėlių moksliniai tyrimai atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį nustatant jų saugos aspektus. Stabdžių trinkelėlių saugumui įtakos turi įvairūs veiksniai, tokie kaip jų gebėjimas užtikrinti nuoseklų ir patikimą stabdymo efektyvumą, atsparumą perkaitimui (stabdymo efektyvumo sumažėjimas dėl perkaitimo) ir suderinamumas su stabdžių sistema. Atliekant tyrimus, galima įvertinti skirtingų stabdžių trinkelėlių medžiagų ir konstrukcijų saugos charakteristikas, užtikrinant, kad jos atitiktų arba viršytų norminius standartus ir užtikrintų optimalų vairuotojų ir keleivių saugumą.

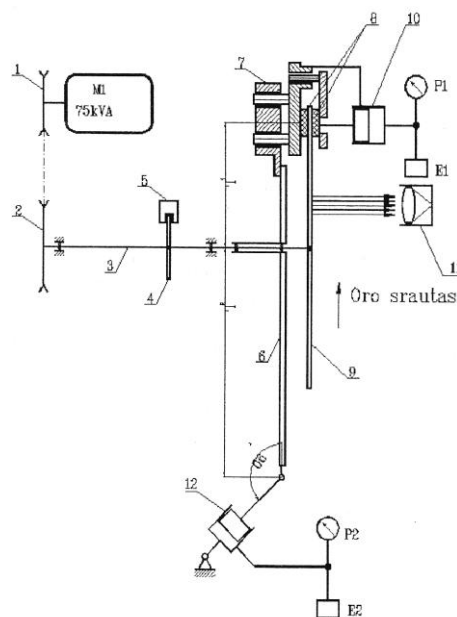
Tyrimo metodika

Ekspperimentiniai tyrimai atlikti UAB „Neigiamas pagreitis“ įmonėje atliekančioje transporto priemonių saugumo bandymus. Stabdžių trinkelės išbandomos naudojant stabdžių trinkelėlių bandymo įrangą „GARLING“, kurios konstrukcija leidžia atkartoti stabdžių sistemos funkcijas. Stabdžių trinkelėlių bandymų stendas yra skirtas automobilinių stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento, dilumo ir frikcinės medžiagos specifinio svorio (tankio) matavimams (1 pav.). Tyrime buvo naudojamos šešių skirtingo gamintojo stabdžių trinkelės, kurių sudėtyje yra įvairių trinties medžiagų.

Atliekant tyrimą stabdžių disko sukimosi dažnis be apkrovos buvo 650 ± 10 aps/min. Stabdžių trinkelės prispaudimo jėga prie stabdžių disko – $100 \text{ N/cm}^2 \pm 5 \%$, tam pasiekti naudojamas bendras hidraulinis slėgis sistemoje – $20 \text{ bar} \pm 3 \%$. Kiekvienas ciklas pradedamas kai stabdžių trinkelėlių temperatūra yra $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Bandymo įrangos kompiuteris registruoja trinties koeficiento μ_{op} , μ_{min} , μ_{max} reikšmes, temperatūros pokyčius $^\circ\text{C}$ ir atliktą trinties darbą MJ, stabdžių trinkelės sveriamos prieš ir po bandymo, fiksuojamas svoris ore ir vandenyje, g. Trinties savybės atspindinčios trinties koeficiento reikšmės, gautos bandymų metu lyginamos su originalaus gamintojo reikšmėmis.

Atliekant bandymą turi būti išlaikytos atitinkamos darbo sąlygos:

- aplinkos oro temperatūra nuo 5 iki 40 °C (nuo 278 iki 313 K);
- santykinė oro drėgmė prie 25 °C (298 K) iki 50 %;
- atmosferinis slėgis nuo 86 iki 106 kPa (867 iki 1067 mbar.);
- maitinančio elektros tinklo įtampa nuo 198 iki 245 V, ($50 \pm 0,5$) Hz dažnio su harmonikų lygiu neviršijančiu 5 %.

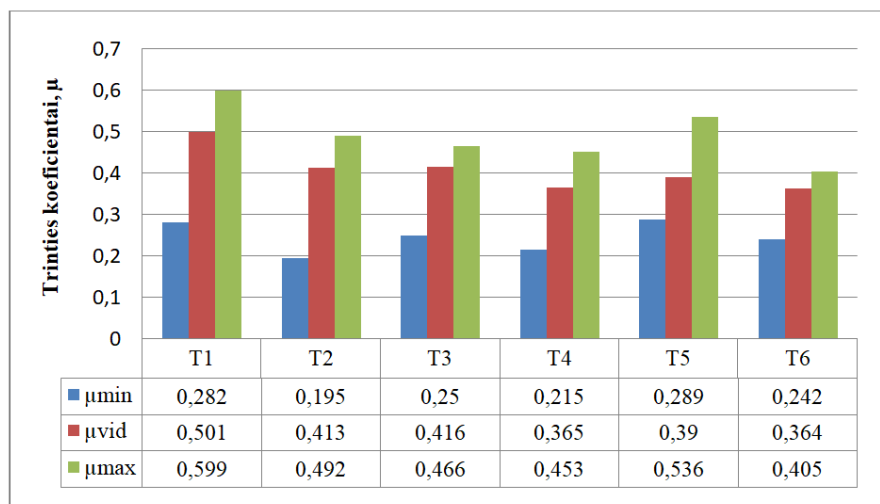


1 pav. Stabdžių trinkelėlių bandymo stendo schema. 1 – varantysis skriemulys, 2 – varomasis skriemulys, 3 – velenas, 4 – diskas su įpjovomis apsisukimams matuoti, 5 – optoelektroninis jutiklis, 6 – stabdžių apkabos laikiklis, 7 – originali stabdžių apkaba, 8 – stabdžių trinkelės, 9 – originalus stabdžių diskas, 10 – stabdžių apkabos hidrocilindras, 11 – bekontaktis (su IR spinduliais) disko paviršiaus temperatūros matuoklis, 12 – trinties jėgos atsveriamasis hidrocilindras

Bandymas buvo atliekamas pagal JT EEK R90 norminio dokumento reikalavimus ((JT/EEK) taisyklė Nr. 90, 2009). Tyrimo metu sukaupti bandymų rezultatai buvo apdorojami ir analizuojami. Analizuota kiekviena stabdžių trinkelėlių pora bei įvertintos jų savybės. Stabdžių trinkelės buvo lyginamos tarpusavyje noru išsiaiškinti geriausias savybės turinčias stabdžių trinkelės. Tyrimo rezultatai leido iš arčiau susipažinti su rinkoje esančių stabdžių trinkelėlių kokybe bei jų skirtumais.

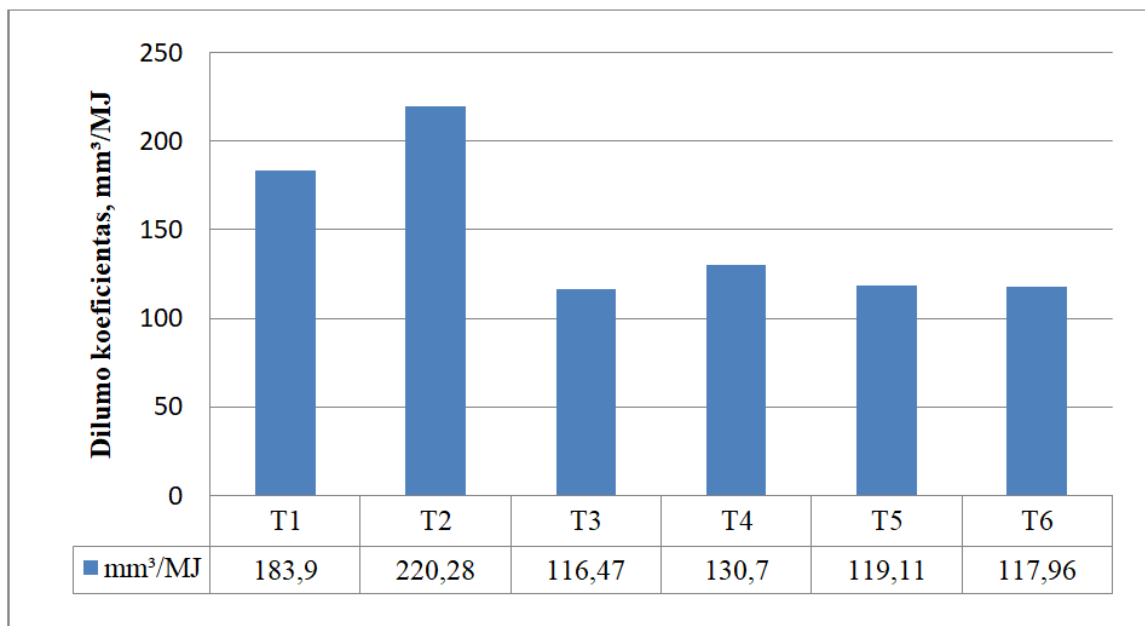
Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimo metu užfiksuotos stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento reikšmės pateiktos stulpelinėje diagramoje (2 pav.). Analizuojant tyrimo metu gautus μ_{min} , μ_{max} trinties koeficientų rezultatus, daromos išvados, kad didžiausias trinties koeficientas μ_{max} , buvo gautas T1 stabdžių trinkelėlių 0,599, tuo tarpu mažiausias trinties koeficientas μ_{max} , T6 stabdžių trinkelėlių 0,405. Kaip matyti, likusių stabdžių trinkelėlių rezultatai, trinties koeficiento μ_{max} svyravo atitinkamai nuo 0,453 - 0,536 ribose. Vienas iš svarbesnių trinties koeficiento rodiklių μ_{min} , kuris parodo mažiausią viso tyrimo metu užfiksuotą trinties koeficientą, parodė T5 stabdžių trinkelės 0,289, o prasčiausius T2 stabdžių trinkelė 0,195. Likusių stabdžių trinkelėlių T1, T3, T4 ir T6 μ_{min} reikšmės pasiskirstė atitinkamai 0,215 - 0,282 ribose.



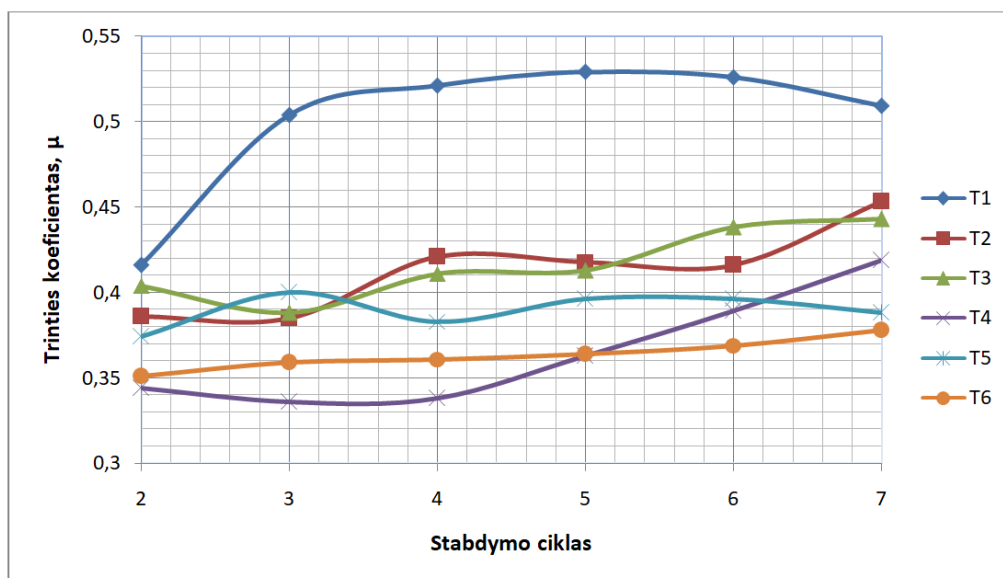
2 pav. Tiriamų stabdžių trinkelėlių trinties koeficiento μ_{vid} , μ_{min} , μ_{max} reikšmės

Stabdžių trinkelų dilumo koeficientai pateikti 3 pav. Iš gautų rezultatų daroma išvada, kad pačios diliausios stabdžių trinkelės buvo gautos bandinio T2, jų dilumo koeficientas buvo gautas 220,28 mm³/MJ. Antros iš diliausių buvo fiksuotos bandinio T1 stabdžių trinkelės, kurių dilumo koeficientas buvo gautas 183,9 mm³/MJ, o mažiausiai dilos bandinio T3 stabdžių trinkelės 116,47 mm³/MJ. Likusių bandinių T4, T5 ir T6 stabdžių trinkelų rezultatai atitinkamai svyravo nuo 117,96 – 130,7 mm³/MJ ribose.



3 pav. Tiriamų stabdžių trinkelų dilumo koeficiento reikšmės, mm³/MJ

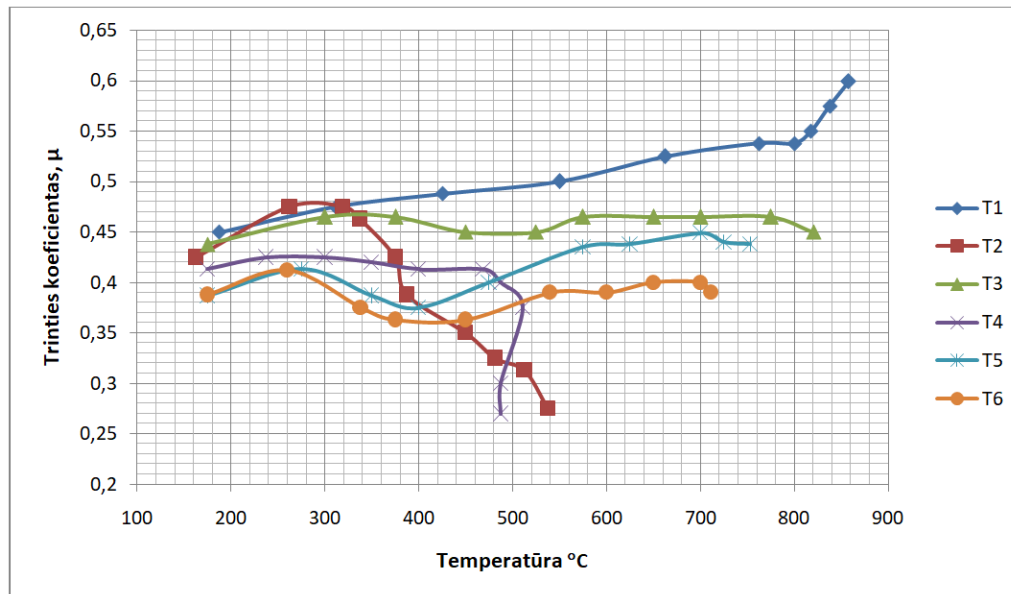
Stabdžių trinkelų, trinties koeficientas μ_{vid} pateiktas 4 pav. Remiantis gautais tyrimo rezultatais daroma išvada, kad didžiausia μ_{vid} reikšmė yra T1 stabdžių trinkelų 0,416 – 0,526. Vienus geriausių μ_{vid} reikšmės rezultatus turinčios trinkelės yra T3 bandinio 0,404 – 0,443 ir T2 bandinio 0,386 – 0,453. Mažiausios μ_{vid} reikšmės užfiksuotos T5 bandinio 0,344 – 0,419 μ_{vid} ir T6 bandinio 0,351 – 0,378 μ_{vid} stabdžių trinkelė. Iš pateikto grafiko matyti, kaip 7 cikle įjungtas priverstinis stabdžių sistemos aušinimas paveikė tyrimo rezultatus. Įsijungus priverstiniam aušinimui bandinių T1, T3 ir T5 stabdžių trinkelų μ_{vid} reikšmės sumažėjo, o bandinių T2, T4 ir T6 μ_{vid} reikšmės padidėjo, kas parodė skirtingas stabdžių trinkelų trinties koeficiento μ_{vid} priklausomybes nuo temperatūros.



4 pav. Tiriamų stabdžių trinkelų trinties koeficiento μ_{vid} kitimas ciklo metu

Tiriamų stabdžių trinkelų trinties koeficiento kitimo priklausomybė nuo temperatūros pateikta 5 pav. Pateiktame grafike matyti, kad T1 stabdžių trinkelės pasiekė aukščiausią 857,8 °C temperatūrą ir išlaikė trinties

koeficiento μ_{vid} didžiausią 0,526 reikšmę. Bandinio T3 stabdžių trinkelę, pasiekta maksimali 820,68 °C temperatūra ir trinties koeficientas μ_{vid} buvo gautas 0,438. Bandinio T5 stabdžių trinkelę, buvo pasiekta maksimali temperatūra 753,26 °C ir vidutinis trinties koeficientas μ_{vid} buvo gautas 0,396. Darytina išvada, kad šios trys stabdžių trinkelės pasižymi geromis savybėmis, kai išlaikomas stabilus arba didėjantis trinties koeficientas didėjant temperatūrai.



5 pav. Tiriamų stabdžių trinkelę trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros

Bandinio T2 stabdžių trinkelę pasiekta maksimali 537,35 °C temperatūra buvo viena žemiausių, nors vidutinis trinties koeficientas μ_{vid} buvo gautas 0,416, tačiau stabdymo metu pasiekus 318,8 °C temperatūrą, trinties koeficientas pradeda mažėti ir pasiekus maksimalią 537,35 °C temperatūrą trinties koeficientas sumažėja iki 0,275 ribos. Panaši situacija buvo gauta ir su bandinio T4 stabdžių trinkelėmis. Kaip matyti, pasiekus maksimalią 510,97 °C temperatūrą, vidutinis trinties koeficientas μ_{vid} buvo gautas 0,389. Tuo tarpu, stabdymo metu pasiekus 468,75 °C temperatūrą, trinties koeficientas pradeda mažėti ir pasiekus maksimalia 510,97 °C temperatūrą, trinties koeficientas sumažėja iki 0,270 reikšmės. Šių dviejų stabdžių trinkelę bandinių tyrimo rezultatai kelia susirūpinimą, dėl tolimesnių eksploatacinių savybių.

Išvados

1. Atlikus stabdžių trinkelę stabdymo efektyvumo aspektų analizę, buvo pastebėta, kad stabdžių trinkelę kokybė ir eksploatacinės savybės daro tiesioginę įtaką transporto priemonių saugai ir patikimumui.
2. Stabdžių trinkelės pasižyminčios geromis eksploatacinėmis savybėmis didėjant temperatūrai išlaiko stabilų ir didėjantį trinties koeficientą, kas parodo jų geras eksploatacines savybes.
3. Geromis eksploatacinėmis charakteristikomis pasižymėjo bandinio T1 stabdžių trinkelės, kurių trinties koeficiento μ_{vid} μ_{max} reikšmės svyravo 0,501 ir 0,599 ribose.
4. Prasčiausiomis eksploatacinėmis charakteristikomis pasižymėjo bandinio T2 stabdžių trinkelės, kurių trinties koeficiento μ_{vid} μ_{min} reikšmės svyravo 0,413 ir 0,195 ribose.
5. Buvo pastebėtas bandinių T2 ir T4 stabdžių trinkelę trinties koeficiento sumažėjimas didėjant temperatūrai, keliantis susirūpinimą dėl jų patikimumo sudėtingose situacijose.
6. Išanalizavus tyrimo rezultatus, pastebėta, kad stabdžių trinkelės pasižyminčios geromis eksploatacinėmis savybėmis didėjant temperatūrai išlaiko stabilų arba didėjantį trinties koeficientą kas parodo jų geras eksploatacines savybes.

Literatūra

1. Alves, C., Evtyugina, M., Vicente, A., Conca, E., & Amato, F. (2021). Organic profiles of brake wear particles. *Atmospheric research*, 255, 105557.
2. Bhakuni, H., & Muley, A. V. (2023). Fabrication, testing & analysis of particulate ceramic matrix composite for automotive brake pad application. *Materials Today: Proceedings*.
3. Filip, I., & Cristescu, A. C. (2023). Experimental Study of the Correlation between the Wear and the Braking System Efficiency of an Auto-Vehicle.

4. Hemanth, M. S. K., & Dhas, J. E. R. (2023). Eco-friendly materials for brake pad-ANSYS overview. *Materials Today: Proceedings*.
5. Huang, R., Deng, J., Ma, X., Mao, Y., & Fan, S. (2024). Modifying C/C–SiC brake pads with different Fe–Si alloy phases to improve the wear resistance of full-carbon/ceramic brake pair. *Ceramics International*, 50(7), 10582-10592.
6. Irawan, Agustinus Purna, et al. (2022). Overview of the important factors influencing the performance of eco-friendly brake pads. *Polymers*, 14.6: 1180.
7. Jensen, K. M., Santos, I. F., & Corstens, H. J. (2024). Estimation of brake pad wear and remaining useful life from fused sensor system, statistical data processing, and passenger car longitudinal dynamics. *Wear*, 538, 205220.
8. Shang, X., Yu, K., Zuo, X., & Yang, H. (2022). Low wear braking material with high friction coefficient. *Tribology International*, 173, 107608.
9. Vijay, R., Rajan, B. S., Sathickbasha, K., Hariharasakthisudhan, P., Singaravelu, D. L., Manoharan, S., ... & Sethupathi, P. B. (2022). Influence of metal sulfide coated steel fibers on the friction and wear performance of brake friction composites. *Tribology International*, 176, 107924.
10. Wahlström, J., Leonardi, M., Tu, M., Lyu, Y., Perricone, G., Gialanella, S., & Olofsson, U. (2020). A study of the effect of brake pad scorching on tribology and airborne particle emissions. *Atmosphere*, 11(5), 488.

RESEARCH OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF BRAKE PADS

Summary

Brakes are the mechanical devices in a vehicle responsible for decelerating or halting its motion. When brakes are applied, kinetic energy is converted into heat energy via friction. As such, brakes are a critical safety feature in automobiles, playing a decisive role in safe driving. The test examines brake pads from six different manufacturers that fit the same vehicle. The tests are performed using the GARLING brake pad test bench, maintaining the same test conditions for all brake pads tested. During the research, the values of the brake pad friction coefficient μ_{op} , μ_{min} , μ_{max} , the variation of the friction coefficient during the cycle μ_{vid} , the dependence of the friction coefficient on temperature and the wear coefficient mm^3/MJ are recorded. Under normal driving conditions, the temperature of brake discs and pads can vary from 100 °C to 300 °C. During hard or prolonged braking, the temperature can rise above 400 °C. During braking, the T4 brake pads reached an equally low temperature of 510.97 °C with a coefficient of friction μ reduction of 0.413 - 0.250. These pads do not maintain a constant coefficient of friction and decrease with increasing temperature. Such pads are dangerous to use. From the results of the study, it is concluded that the differences in the quality of the brake pads on the market raise concerns about the conditions under which they will be used.

AERONAUTIKOS KRYPTIES TECHNOLOGINIAI TYRIMAI

DESIGN CHALLENGES OF MECHANICAL TRANSMISSIONS IN AIRCRAFT

César Izquierdo Brasero, Esmeralda Štyps

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Mechanical transmissions in aircraft are critical and important components that allow for safe and efficient operation. Unlike helicopters, airplanes do not require transmissions for propellers or rotors. However, they are necessary for operating essential components such as electrical generators, fuel pumps, and air compressors. To understand mechanical transmissions in aircraft, it is important to know the types of aircraft in which they are used and some notable examples.

KEY WORDS. Mechanical transmissions in aircraft, propeller transmissions, helicopter transmissions.

Introduction

Mechanical transmissions are fundamental components in aircraft, as they enable the transfer of power between various elements such as engines, propellers, rotors, and auxiliary systems. These components allow the energy generated by the engines to be efficiently distributed among those parts requiring motion, such as airplane propellers or helicopter rotors and tails.

Very few researchers have conducted studies on the factors responsible for gear-related transmission errors, some common types of transmission errors caused by gear, reported aviation incidents due to gear-related transmission errors.

In the aeronautics sector, the reliability of these systems is vital due to demanding operating conditions, including high speeds, extreme temperature variations, and the need to minimize weight without compromising the durability and safety of the aircraft. Mechanical transmissions have evolved significantly, from relatively simple systems to complex configurations aimed at optimizing performance and reducing power losses. One of the sources of transmission errors is the gear.

Research object: mechanical transmissions for aircraft.

Research aim: establish the basics design challenges for mechanical transmissions in aircraft.

The tasks:

3. Analyse peculiarities of usage of mechanical transmissions in aircrafts.
4. Describe technical requirements and design challenges of mechanical transmissions in aircrafts.

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Mechanical transmissions in aircrafts

Researcher Darakhshan Zaidi [3] discussed the impact of transmission errors due to gear in ATC, the factors responsible for gear-related transmission, some common types of transmission errors caused by gear.

Group of researchers [4] analysed an aircraft's landing gear actuator and mentioned that these components undergo significant stress during every flight, resulting in wear and tear that requires regular maintenance and repairs.

For prevention of gear-related transmission errors it's important to understand the primary function of mechanical transmissions. This unit is used to adapt the characteristics of the power generated by the engine to meet the specific demands of the different components of the aircraft. Among these functions are:

- **Speed and Torque Transformation.** Aircraft engines typically operate at high rotation speeds to maximize power generation efficiency. However, many components cannot use this speed directly, as they require higher torque or slower rotation. Therefore, the transmission must reduce the engine speed and increase torque before transmitting power to the propulsion system (propeller or rotor).

- **Power Distribution.** The mechanical transmission not only transforms power but also distributes it to multiple points. For example, in a helicopter, the transmission directs power not only to the main rotor but also to the tail rotor, each with its specific speed and torque requirements, which is key to controlling the helicopter's direction.

- **Vibration and Misalignment Compensation.** Due to constant vibration and changes in aerodynamic load during flight, it is essential for mechanical transmissions to incorporate flexible coupling systems that absorb vibrations and compensate for minor misalignments. This minimizes component wear and ensures smooth and precise operation of the transmission.

- **Safety and Redundancy.** In aeronautics, the reliability of transmission systems is critical. Any failure in the transmission could result in a loss of control over the aircraft's propulsion elements. Therefore,

transmission systems often include redundancies and protective mechanisms to ensure that, in the event of a failure, the transmission continues operating for long enough to enable a safe landing.

Components of mechanical transmissions:

- **Drive Shafts.** Drive shafts are responsible for transmitting mechanical power from the engine to the system's operating parts. Due to high demand conditions such as high speeds, strong vibrations, and high torque forces, drive shafts are made from high-strength steel alloys or composite materials, which provide excellent strength and an optimal weight-to-strength ratio.

During the assembly of drive shafts, it is crucial for them to be precisely aligned since any deviation could cause friction and, consequently, wear. Over time, this could lead to a transmission shaft failure, which could translate into a loss of performance. To address this issue, flexible couplings can be incorporated to correct small misalignments and absorb vibrations.

- **Gears.** Gears are components that enable the modification of movement characteristics, such as rotational speed and transmitted torque, which vary based on gear size and proportional size relationships. In aircraft, two types of gears are commonly used: the more commonly used helical gears, which reduce noise and improve smooth operation, and planetary gears, which distribute the load across multiple contact points, allowing for more efficient transmission in compact spaces.

In helicopter transmissions, for instance, gears must withstand high forces without deforming or losing efficiency. Precision in manufacturing is key to avoiding issues related to vibration and material fatigue.

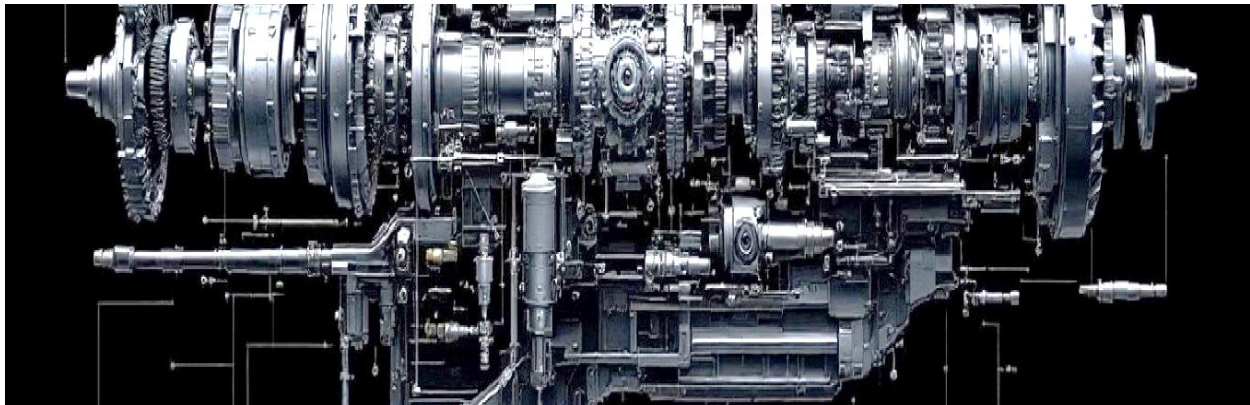


Fig. 1. Components of mechanical transmissions [1]

- **Couplings.** Couplings allow the connection between different shafts or components in a mechanical transmission. As previously mentioned, in aeronautics, flexible couplings are particularly important for compensating for misalignments that can arise due to fuselage movements or engine vibrations. They also help dampen vibrations that could damage the internal components of the system.

In addition to flexible couplings, rigid couplings can be used in parts of the system where perfect alignment and direct power transmission are required. These couplings must be resistant to fatigue and capable of operating under extreme conditions without failure.

- **Speed Reducers.** In aircraft functions, it is crucial for engines to operate at high speeds to maximize efficiency; however, these speeds are not always suitable for other systems, such as propellers or rotors, which require slower rotation but with higher torque. Speed reducers are therefore necessary, as they reduce the rotational speed and increase the available torque for systems that need it.

In fixed-wing aircraft powered by propellers, a speed reducer adapts the engine's high revolutions to the propeller's optimal speed, enhancing propulsion efficiency. In helicopters, this type of system is also common, where the engine's RPM must be reduced to meet the needs of the main and tail rotors.

Although not exactly the same, speed reducers are similar to what would be a gearbox in a vehicle's mechanical transmission. The difference lies in that a gearbox is a broader term encompassing all internal mechanisms, while the speed reducer is much more specific and simply reduces the input speed to a lower output speed, unlike the gearbox, which can adjust both speed and torque.

Types of mechanical transmissions in aircraft:

- **Propeller Transmissions.** In fixed-wing aircraft that use propellers, the transmission connects the engine to the propeller, adjusting speed and torque. Turboprop and piston engines are commonly used in these systems. One of the main challenges in this type of transmission is maintaining a balance between engine speed and propeller rotation speed, as propellers cannot operate efficiently at the high speeds of modern engines.

A notable example of mechanical transmission in propeller aircraft is the speed reduction system, which uses reducing gears to lower engine RPM and match the propeller's ideal speed, maximizing the propulsion system's efficiency.



Fig. 2. Types of mechanical transmissions in aircraft [1]

- **Rotor Transmissions (Helicopters).** Helicopter transmissions are particularly complex systems that distribute power between the main rotor, which generates lift, and the tail rotor, which provides stability and directional control. Gearboxes play a crucial role, as they must manage not only speed and torque but also the direction of transmitted power.
- Helicopter transmissions are designed to withstand very high torque forces and must be extremely reliable, as a transmission failure can have catastrophic consequences for the flight. These transmissions often include helical or planetary gears, which allow efficient speed reduction and distribute the load evenly to minimize wear.

Transmission Systems in Jet Aircraft

Unlike helicopters, airplanes do not require transmissions for propellers or rotors; however, they are necessary for operating essential components such as electrical generators, fuel pumps, and air compressors. These systems must be connected to the jet engine to ensure a power supply to various subsystems vital to the airplane's operation.

However, when the jet aircraft is on the ground, these vehicles use auxiliary power units (APUs) which, while the aircraft is grounded and the main engines are off, ensure that electrical and pneumatic systems continue functioning during maintenance or ground operations.

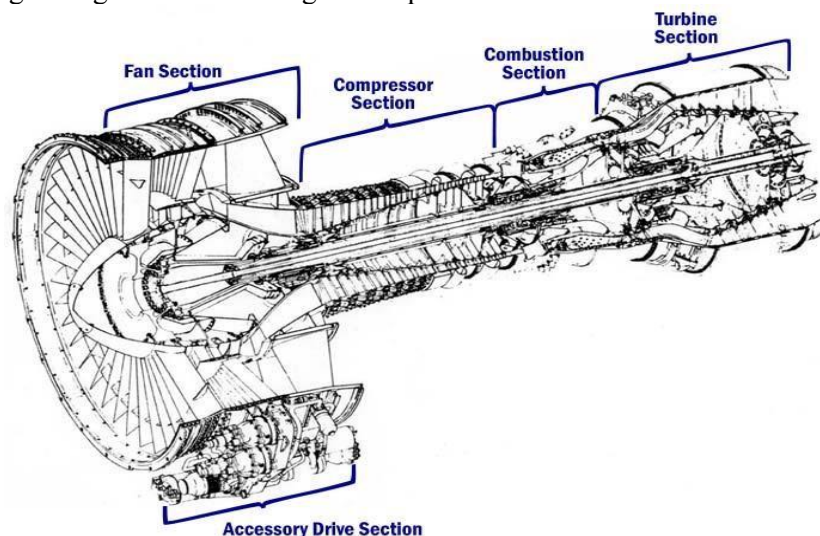


Fig. 3. CF6-6 engine cutaway [2]

Technical Requirements and Design Challenges

In mechanical transmissions, it is essential to continually improve parts to enhance machine performance; therefore, technical requirements that transmissions must meet and possible design challenges for future improvements play a critical role:

- **Weight and Space.** One of the greatest challenges in aeronautical engineering is weight optimization. Transmissions must be as lightweight as possible without compromising strength or reliability. Advanced materials, such as titanium alloys and carbon fiber composites, are increasingly used in transmission component manufacturing, offering an excellent weight-to-strength ratio.

- **Efficiency and Reliability.** Efficiency is crucial in aeronautical transmissions, as any energy loss during transmission can increase fuel consumption, affecting both the aircraft's range and operational costs. Additionally, reliability is essential, as any failure in the transmission could compromise the safety of the aircraft.

- **Maintenance and Durability.** Maintenance of transmission systems is another critical aspect. Transmissions must be easy to inspect and maintain, which means engineers should design them so that critical components are accessible without dismantling large parts of the aircraft. Moreover, durability is key, as transmissions are continuously subjected to extreme forces.

Examples and Applications in Modern Aircraft. To understand mechanical transmissions in aircraft, it is important to know the types of aircraft in which they are used and some notable examples. The examples covered will be the Airbus A320, the Sikorsky UH-60 Black Hawk, and the Boeing CH-47 Chinook.

Airbus A320. We begin by explaining the function of mechanical transmissions in a commercial, propulsion-powered airplane like the Airbus A320. Mechanical transmissions are essential to power key systems, such as electrical generators, the hydraulic system, and the auxiliary power unit (APU). These systems ensure the continuous operation of electrical and pneumatic systems, even when the main engines are off.



Fig. 4. Airbus A320 [2]

Sikorsky UH-60 Black Hawk. The UH-60 Black Hawk is a military helicopter that uses a highly advanced transmission system to distribute power between the main rotor and the tail rotor. The UH-60 transmission is designed to withstand extreme forces, and its reliability has been proven in demanding operational conditions, from deserts to cold climates. Its reliability has been confirmed in these conditions to ensure its effectiveness in the military field.



Fig. 5. Sikorsky UH-60 Black Hawk [1]



Fig. 6. Boeing CH-47 Chinook [2]

Boeing CH-47 Chinook. This dual-rotor helicopter uses a transmission that connects both engines to the two main rotors. The transmission is designed to ensure that both rotors receive the appropriate power evenly, enabling precise control during flight.

Future trends in mechanical transmissions for aircraft. As discussed, advancements in this sector are essential for improving performance, safety, and current limitations; therefore, it is crucial to investigate new materials, transmission designs, and maintenance approaches. This will enable continuous improvement and better results:

- **Composite Materials.** Advancements in composite materials and the development of new alloys are enabling the creation of lighter and more durable transmission components. For instance, carbon fiber composites are extremely light and fatigue-resistant, making them an ideal choice for reducing the aircraft's overall weight.

- **Hybrid Transmissions.** With increased interest in electric and hybrid aviation, transmission systems are evolving to integrate electric motors alongside traditional systems. This presents new challenges in terms of efficiency and energy management, while also offering opportunities to reduce emissions and enhance aviation sustainability - critical factors that would constitute significant advancements in the development of mechanical transmissions.

- **Predictive Maintenance.** New real-time monitoring technologies allow transmission failures to be anticipated before they occur. Sensors installed in transmission systems can detect unusual vibrations, temperature increases, or premature wear, allowing engineers to perform preventive maintenance and reduce the risk of in-flight failures. This preventive maintenance helps to avoid significant accidents or failures, protecting both human lives and material assets.



Fig. 7. Future Trends [2]

Conclusion

Mechanical transmission – gearbox- is one of the vital components in aircraft engines. Any small damage to gearboxes can cause the breakdown of aircraft engines.

1. From propellers to helicopter rotors and auxiliary systems in jet aircraft, these systems have evolved to meet the demands of modern aviation. They perform essential functions in aircraft, such as power distribution and speed or torque transformation, which enable the proper functioning of systems and maximize performance.

2. Types of mechanical transmissions helps in comprehending the differences between them and in selecting the appropriate type depending on the aircraft. Regarding advancements in materials and technology, mechanical transmissions will continue to improve in efficiency, durability, and reliability, contributing to making aviation safer and more sustainable and ensuring that aircraft remain the safest mode of transportation in the world.

References

1. Exploring the Mechanics Behind Helicopter Transmissions. *Aviation*, September 22, 2023. <https://wingsair.net/2023/09/22/exploring-the-mechanics-behind-helicopter-transmissions/>
2. The Role of Gears and Gearboxes in the Aviation Industry. Ermaksan <https://ermaksangear.com/blog/the-role-of-gears-and-gearboxes-in-the-aviation-industry/>
3. Darakhshan Zaidi. ATSEP Use Cases: Impact of Transmitter Errors due to Synchronization Issues with the Receiver in ATC. SkyRadar. <https://www.skyradar.com/blog/atsep-use-cases-impact-of-transmitter-errors-due-to-synchronization-issues-with-the-receiver-in-atc>
4. Aircrat Accsories Internatinal. Aircraft Maintenance: Landing Gear Actuators and Gearbox Transmissions. <https://aaiair.com/aircraft-maintenance-landing-gear-actuators-and-gearbox-transmissions/>

MECHANINIŲ TRANSMISIJŲ ORLAIVIUOSE PROJEKTAVIMO IŠŠŪKIAI

Santrauka

Mechaninės transmisijos orlaiviuose yra svarbūs komponentai, leidžiantys saugiai ir efektyviai dirbti. Skirtingai nuo sraigatsparnių, lėktuvams nereikia sraigčių ar rotorijų pavarų, tačiau jie būtini norint valdyti pagrindinius komponentus, tokius kaip elektros generatoriai, kuro siurbliai ir oro kompresoriai. Norint suprasti mechaninių transmisijų orlaiviuose projektavimo aspektus, svarbu žinoti orlaivių tipus, kuriuose jos bus naudojamos, ir panaudojimo galimybes.

AIRBUS A330 ELECTRICAL SYSTEM ANALYSIS

Martin Romero Espel, Esmeralda Štyps

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Airbus A330 electrical system is a very advanced and complex system with a highly advanced architecture that has undergone significant improvements over the years. This paper emphasizes the importance of the electrical system in preserving overall aircraft performance and safety and provides a basis for future training and knowledge development in Airbus aircraft systems.

KEY WORDS. Airbus A330, electrical system, electrical network protection system

Introduction

The Airbus A330 is a well-known wide-body twin-engine jet airliner that is essential to both commercial and freight aviation because of its remarkable range, fuel efficiency, and adaptability. Since it provides the electricity needed for practically every system on board, including avionics and environmental controls, the electrical system is one of the most crucial of its many complex systems. Pilots, engineers, and maintenance personnel must all comprehend this electrical system since it impacts the aircraft's operating efficacy and safety.

The design, components, operating principles, and redundancy features of the Airbus A330's electrical system are all thoroughly examined in this document. The electrical system of the A330 is mostly built on an AC architecture, with DC power added for certain purposes.

To guarantee continuous power during all flight phases, the system combines several power sources, including as battery systems, auxiliary power units (APUs), and engine-driven generators.

The A330 electrical system is designed with redundancy and dependability in mind. In the case of an engine or generator failure, the aircraft's many levels of backup power will support vital systems. With fail-safe mechanisms that enable the aircraft to continue operating even in the face of unfavourable circumstances, every part and subsystem is designed to satisfy strict aviation safety regulations. In-depth explanations of the functions of important parts, electrical power channels, and failover methods that guarantee ongoing functioning will all be covered in this document.

Research object: A330 electrical system.

The goal of this research is to give aerospace experts the technical knowledge they need to efficiently operate, diagnose, and maintain the Airbus A330 electrical system.

The tasks:

1. Analyse influence of electrical system for the aircraft's operation.
2. Describe main parameter for protection of electrical system.

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Electrical system of aircraft Airbus A330

An aircraft's electrical system's main duties include producing, controlling, and distributing electrical power. The electrical systems aboard an airplane are powered by a variety of power sources. These power sources include external power, auxiliary power units (APUs), and engine-driven alternating current (AC) generators. The electrical power system of the airplane is used to run the flying instruments, critical systems including anti-icing, and passenger amenities, like cabin lights. Numerous parts make up the electrical system, which powers various aircraft systems.

Electricity is produced in two types of current depending on their use:

- **Direct Current (DC):** Transformer-rectifier, generator, and battery.
- **Alternating Current (AC):** Inverter, generator.

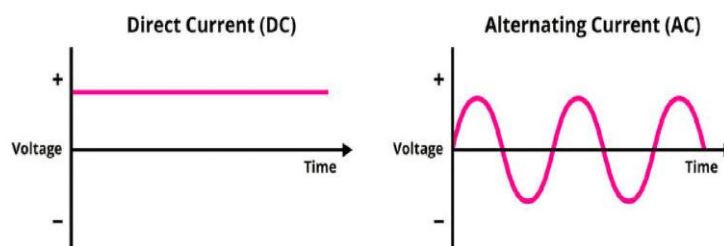


Fig. 1. Direct Current (DC) & Alternating Current (AC) [1]

The IDG (Integrated Drive Generator) generators, which are unique to the A330 and are utilised as the primary power source for the aircraft's electrical network, are two identical engine-driven generators. Essentially, the IDG consists of a generator and a CSD (Constant Speed Drive). The generator needs a constant input speed from the CSD in order to maintain a steady output frequency.

Researchers [6] analysing Airbus A330 aircraft's electrical system accepted that it operates with two primary generators, GEN 1 & GEN 2. Each one supplies 150V, 400Hz AC to their respective buses. AC Bus 1 is powered by GEN 1, and AC Bus 2 is powered by GEN 2 through Bus 1. The system powers the DC 1 and DC 2 buses by converting 150V AC to 28V DC using Transformer Rectifiers (TRs). When other power sources are not available, the DC Battery Bus, which is fed by DC 1, can either charge or drain power from the batteries.

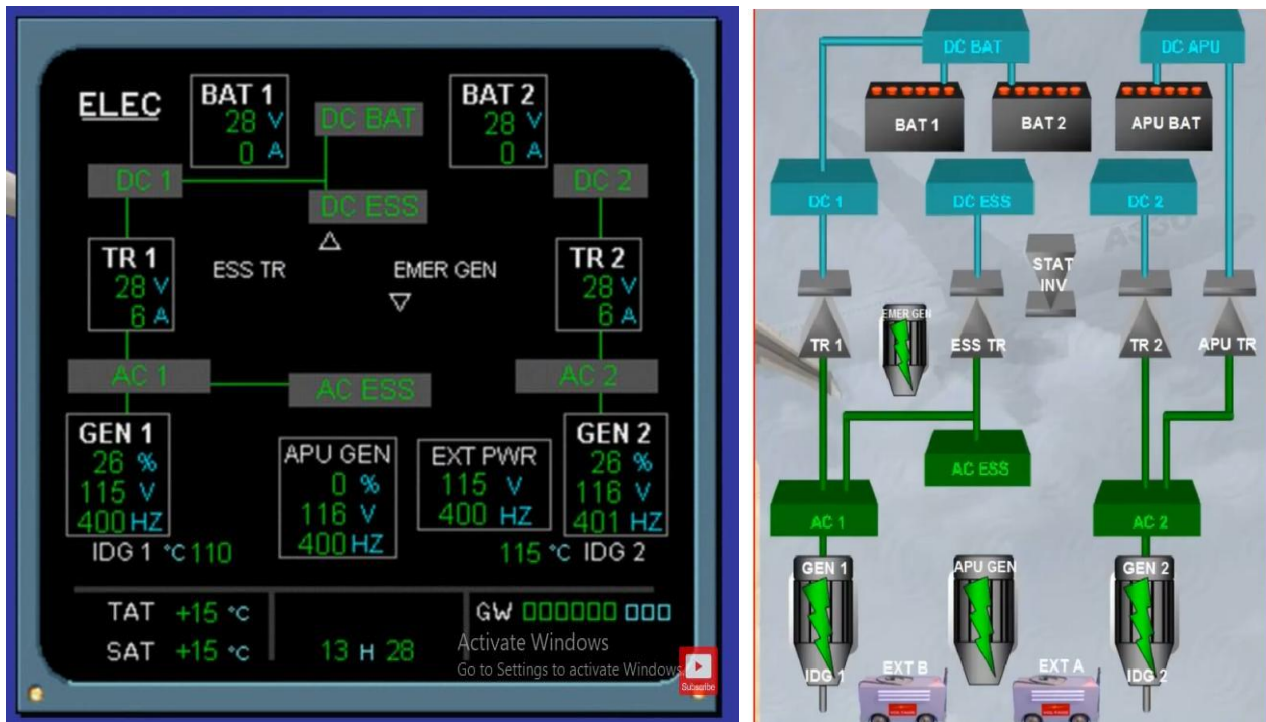


Fig. 2. Notice that each component has a title to aid identification. [2]

Additionally, the system has AC and DC Essential (ESS) buses, which supply vital systems with power. AC ESS from AC Bus 1 and DC ESS from DC 1 are the sources of electricity for these buses, respectively. GEN 1, GEN 2, APU, or an external source can power the aircraft during normal operation. The power supply, however, gives priority to the individual generators because the system cannot function in parallel. External power, APU, and the opposite generator come next.

If AC Bus 1 is lost during an emergency, the RAT (Ram Air Turbine) will automatically expand to supply hydraulic power for the backup generator. In this instance, the emergency generator powers AC Bus 2. Battery 1 powers the AC ESS through a static inverter in the absence of an emergency generator, while Battery 2 powers the DC ESS.

During our research regarding to other researchers' studies [3, 4, 5] we focused that the system has a number of switches for controlling the electrical distribution, including a bus tie switch to regulate AC Buses 1 and 2 and push-button switches to control the main generators, APU, and external power. Furthermore, physical intervention is possible when needed thanks to the emergency generator test switch and other controls. Additionally, a Ground Power Control Unit (GPCU) on the aircraft controls the external power source.

To power the vital network, the Essential Transformer Rectifiers (ETRs) transform 150V AC to 28V DC at a rate of 200A. The emergency GCU links the backup generator to the critical network in the event of a failure. In order to supply the AC and DC service buses without using up all of the electrical power, the aircraft additionally has a maintenance bus switch.

The aircraft displays electrical power parameters for monitoring purposes using Electrical Generation Interface Units (EGIUs) and the Centralised Fault Display Interface Unit (CFDIU). The APU and external power sources are controlled by the Ground and Auxiliary Power Control Unit (GAPCU), and electrical system condition is tested and reported via the MCDU interface.

Wires. The network of wires that transmit power and data between various systems and components across the aircraft makes up the electrical wiring system of an Airbus A330.

The three types of wires that power and regulate the aircraft's systems are as follows:

1. Primary Power Wires. The primary power wires are responsible for providing power to the aircraft systems. They are often encased in an insulating substance and composed of copper or aluminium. In order to ensure optimum power distribution, they are often routed through the fuselage and wings.

2. Secondary Power Wires. These wires are similar to the primary wires, but are responsible for providing backup power to the aircraft systems in the event of the primary power failure.

3. Ground Wires. The ground wires are in charge of giving the aircraft systems a direct route to the earth. These are normally encased in an insulating substance and are composed of copper or aluminium. Usually, they pass through the wings and fuselage to guarantee that the aircraft systems are properly grounded.

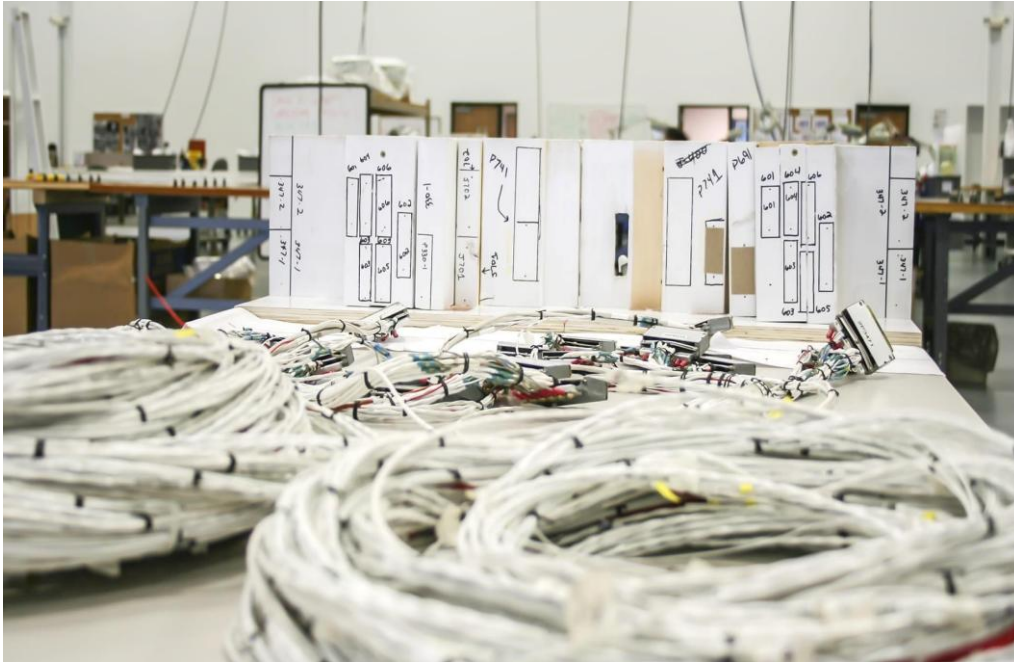


Fig. 3. Aircraft wires [3]

The wire distribution is another crucial topic to discuss. Usually, they are routed via the aircraft's walls, floors, and centre pedestal and overhead systems. The wire is arranged into bundles based on its intended use.

Power and data cables are run via the overhead and centre pedestals, while the wiring for the aircraft's systems and components is run through the walls and flooring. Every wire is labelled with the system and component to which it belongs. The cables are further separated into main and secondary wiring.

While secondary wiring connects the secondary systems and components to one another, the main wire connects the aircraft's primary systems and components. The cables are also organised into groups of different colours. A distinct system or component is represented by each group of varying colours. This reduces the likelihood of wiring errors and simplifies identification.

The Airbus A330 also comes with a comprehensive wiring harness system that facilitates wiring installation and maintenance.

Protection

The electrical network protection system of the Airbus A330 is made to guarantee the dependability and safety of its parts. This section discusses the usage of limiting resistors, circuit breakers, and fuses, all of which are essential for preventing harm from electrical faults or overcurrent. The electrical system operates within safe parameters thanks to these safety mechanisms, which isolate faulty sections and lessen the chance of cascading failures throughout the aircraft's network.

- **Fuses:** Fuses are used to prevent overloads from damaging electrical circuits. They are incorporated into the Airbus A330 aircraft's wiring to guard against overvoltage, short circuits, and other associated issues.

- **Circuit-breakers:** Circuit breakers are used to prevent overloads, arcing, and short circuits from damaging electrical circuits. To safeguard the line downstream of its installation location, the circuit-breaker will cut electricity if there is a problem that affects the line or the equipment it serves. In order to safeguard

the line upstream, it will also prevent the defect from spreading. The circuit breakers for the Airbus A330 are situated in the electronic equipment compartment. The circuit breaker's condition is tracked using a CBMU (Circuit Breaker Monitoring Unit). The ECAM system receives that information.



Fig. 4. A330 Secondary Circuit Breaker panel [4]

- **Limiting resistors:** To restrict the amount of current that can pass through a circuit, limiting resistors are utilised. They are incorporated into the Airbus A330 aircraft's wiring to guard against overcurrent and other associated issues.

Switches. To regulate and run different systems throughout the aircraft, the Airbus A330 has a large number of switches. These consist of rocker switches, pushbutton switches, toggle switches, and rotary switches. In the electrical system of the aircraft, each kind of switch has a distinct function.



Fig. 5. Example of different switches. [5]

The engine, lighting, and navigation systems are just a few of the systems that are controlled and selected by rotary switches, sometimes referred to as selector switches. A revolving knob or shaft that can be moved into many places, each of which represents a separate system or function, is what distinguishes them. High-power applications frequently use rotary switches because of their ability to manage high currents.



Fig. 6. Example of Rotary Switches [6]

Changeover switches, sometimes referred to as toggle switches, are used to turn on and off a variety of systems, including the autopilot, landing gear, and flaps. Their distinguishing feature is a rocker or lever that has two positions: one for the "on" position and another for the "off" position. Toggle switches are employed in locations where a switch must be within easy reach of the pilot and are made for low-power applications.



Fig. 7. Example of Toggle Switch [7]

The flight management system is programmed, and alerts are set using pushbutton switches, sometimes referred to as momentary contact switches. They are distinguished by a button that, when pressed, activates a particular system or function. Pushbutton switches are frequently utilised in locations where a switch must be conveniently accessible to the pilot and are made for low-power applications.

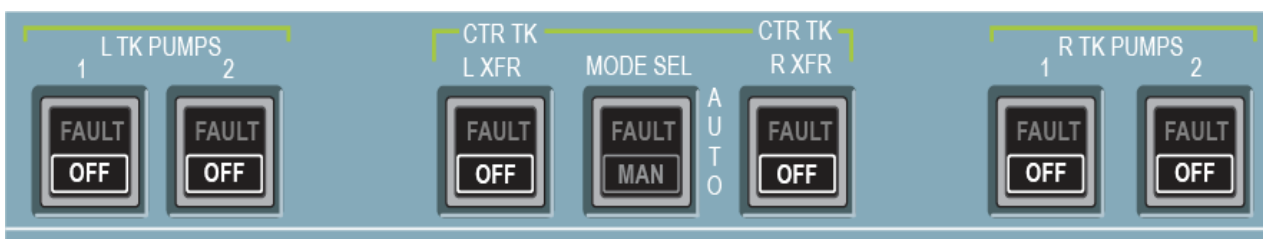


Fig. 8. Example of Pushbutton Switch [8]

The lighting and temperature of the cabin are managed via rocker switches, sometimes referred to as rocker arm switches. Their distinguishing feature is a rocker or lever that has two positions: one for the "on" position and another for the "off" position. Rocker switches are frequently used in locations where a switch must be conveniently accessible to the passenger and are made for low-power applications.

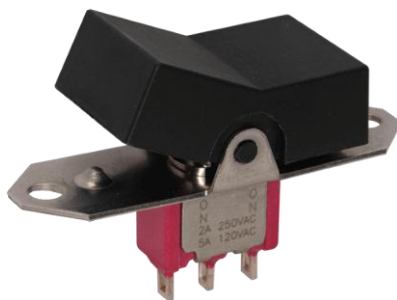


Fig. 9. Example of Rocker Switch [9]

In order to guarantee their correct functioning in the demanding aerospace environment, all of these switch types are made to adhere to stringent safety and reliability standards, including MIL-STD-810 and DO-160. To guarantee their dependability and effectiveness, they are also put through stringent testing and quality control processes.

Conclusion

Airbus A330 Electrical System is a very advanced and complex system with a highly advanced architecture that has undergone significant improvements over the years.

1. The system is crucial to the aircraft's operation due to the fact that it supplies power to all of the aircraft's systems, including navigation, communication, lighting, and power generation. This system, made up of multiple layers of protection, such as fuses, circuit breakers, limiting resistors, and switches, ensures the aircraft's safety and reliability.

2. A330's electrical systems that have been implemented across the various models, allowing for a better understanding of the aircraft's development and technological advancements. Aircraft's basic electrical system, the wiring architecture, protection devices, and switches that comprise the system, providing a comprehensive understanding of the system's design and operation.

So the Airbus A330 electrical system is a critical component of the aircraft's design and plays an important role in ensuring the safety and reliability of the aircraft's operation, as well as providing critical power to the aircraft's systems.

References

1. I Fly America, Inc. (n.d.-b). I Fly America: When the lights go out. Copyright 2013, I Fly America, Inc. https://iflyamerica.org/maintenance_when_lights_go_out.asp
2. MY A330 CORNER. (2018b, March 19). A330 ELECTRICAL SYSTEM CBT [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=4xKxX8g_hFQ
3. Electrical systems. (n.d.-b). <https://www.cfinotebook.net/notebook/operation-of-aircraft-systems/electrical#electrical-components>
4. Aerospaceweb.org | Ask Us - 400 Hz Electrical systems. (n.d.-b). <http://www.aerospaceweb.org/question/electronics/q0219.shtml>
5. AviaLearn. (2018b, January 26). Electrical Power System A320 Family [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DTe8mrw7pko>
6. Modern Airlines - Airbus A330. (2024b, March 6). Modern Airlines. <https://modernairliners.com/airbus-a330/airbus-a330-history/>
7. GE Aerospace. (2015b, November 18). GE Aviation Electrical Power Distribution Design Considerations [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ObHw148t6ss>
8. Pallett, E. H. J. (1954). Aircraft electrical systems. *Nature*, 174(4439), 1001–1002. <https://doi.org/10.1038/1741001a0>
9. "Aircraft Systems: Mechanical, Electrical, and Avionics Subsystems Integration" by Ian Moir and Allan Seabridge
10. "Aircraft Electrical Systems" by Thomas K. Eismann

AIRBUS A330 ELEKTROS SISTEMOS ANALIZĖ

Santrauka

„Airbus A330“ elektros sistema yra labai pažangi ir sudėtinga sistema su sudėtinga architektūra, kuri bėgant metams buvo gerokai patobulinta. Šiame straipsnyje akcentuojama elektros sistemos svarba išsaugant bendrą orlaivio eksploatacines savybes ir saugą ir pateikiama rekomendacija organizuojamiems mokymams siekiant analizuoti ir tobulinti Airbus orlaivių sistemas.

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF WELDED JOINTS IN AIRCRAFT

Diego Crespo Iglesias, Esmeralda Štyps

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Today aerospace welding is under some specific pressure. The foremost benefit of employing welded joints within the aerospace sector is the capability to produce monolithic parts, eliminate numerous lower pairs due to additional joints or fasteners required during assembly. Materials used in welded joints for aircraft must meet strict requirements for strength, lightness, and durability, as an airplane's structure is subjected to extreme conditions of stress, vibration, and variable temperatures. This paper will discuss the reasons that welded joints have become an attractive and effective option for modern aircraft construction and repair via the study of materials, welding processes and methods of inspection.

KEY WORDS. Welded joints, Riveted joints, welding techniques.

Introduction

Welded joints are an essential aspect of the construction and sustainment of modern aircraft, providing a weight-strength combination that is part-and-parcel to components in the aerospace industry. With the evolution of welding technologies, their applications have increased, and in many cases, replaced rivets and bolts. These methods of joining are key techniques for fabricating metallic components, especially in structures where integrity and longevity are essential safety features.

From World War II and on to more complex aircraft with the introduction of high-tech technology, what was once mostly a rare technique, also steadily gained prevalence in planes that had a heavier reliance on welded component parts.

The problem using welded joints is focuses on welded methods. When compared to other mechanical joining methods like riveting, the weld joint serves as a continuous link between parts and can provide more consistent load transfer with nearly no extra mass. The weight savings is important because every pound on aircraft can shed provides more efficiency and more payload.

Research object: welded joints.

Research aim: establish the basics peculiarities of welded joints in aircrafts.

The tasks are:

- 1) Analyse application of welded joint in aircraft.
- 2) Describe peculiarities of welding methods for aircraft.

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Importance of Welded Joints in Aircraft

The foremost benefit of employing welded joints within the aerospace sector is the capability to produce monolithic parts or highly integrated assemblies that could ease the engagement and eliminate numerous lower pairs due to additional joints or fasteners required during assembly. At the same time, this minimizes material and labour usage while reducing drag points from aerodynamic perspective out of the design. With aircraft performance reaping the rewards of lighter and stronger structures enabled by welded joints in an industry where safety and efficiency are paramount.

Moreover, with military and modern airline manufacturers wanting to extend aircraft life. As welding is a fundamental means by which parts can be repaired, it also contributes to sustainability by promoting cost-effective on-the-job repairs instead of part replacements. Today aerospace welding is under some specific pressure. Unlike other applications, there cannot be any distortion and residual responses that will lead to poor structural integrity when they are subjected to cyclic loading and high-vibration environments.

Groupe of researchers [1] discussed difference between welding and riveting and the way of using this type of joining. Riveted joints have traditionally been used as the most common method in aircraft construction. Rivets are easy to inspect and provide solutions against joint failure in fatigue. But with aircraft designs moving toward lighter, more complicated structures and the need for more aerodynamic shapes, welding has made its way into consideration as a possible alternative. Not only relies on more flexible design and manufacturing, but welds also generally help cut back the total mass of the fuselage and wings compared to rivets.



Fig. 1. Welding vs. Rivets [1]

On the flip side, welded joints are susceptible to defects like cracks and porosity requiring stringent quality control and sophisticated inspection methods. The manufacturing process with likes of rivets does not hold this degree of complexity. However, improvements in welding technology (like friction stir welding and laser welding) are reducing those risks and now allow for the manufacture of strong durable welds appropriate for use in primary aircraft structures.

Welded joints are crucial in aerospace applications and, when properly designed, can significantly reduce the need for additional fasteners or brackets. It also examines the technical and safety challenges of using welding in an exacting environment such as aviation.

Materials used in welded joints for aircraft must meet strict requirements for strength, lightness, and durability, as an airplane's structure is subjected to extreme conditions of stress, vibration, and variable temperatures. In aerospace, the most common materials for welding are **aluminum** and **titanium alloys**.

Aluminum Alloys: Aluminum alloys are one of the most important materials in airplane building due to their high ratio on strength-to-weight. But it is quite challenging to weld aluminum because of the high conductivity, and fast formation of an oxide layer that can affect the weld quality. Some welding techniques, like Friction Stir Welding (FSW) are particularly beneficial for aluminum since they avoid typical defects of welded aluminum joints.

Titanium Alloys: Titanium is more costly than aluminum but offers good corrosion resistance and high-temperature characteristics, making titanium alloys a material of choice for various aircraft components, such as some fuselage and engine parts. When it comes to titanium, Laser welding techniques are also suitable as these methods offer accurate welding with a minimal heataffected area and limited distortions.

Material Innovations: Researchers are creating new aluminum-lithium and titanium alloys that will bolster fatigue and impact resistance, allowing welded joints in aircraft to last longer. Such innovations enable improved residual stress control and defect mitigation in joints.

Applications in aircraft components:

Fuselage: Fuselage welding is becoming more common because it reduces the weight relative to the fuselage compared to rivets. This is particularly important for aluminium fuselages, where FSW has proven to be the most effective method.

Wings and Control Surfaces: Wings and control surfaces also need a high strength/weight ratio. What is crucial in flight and prevents failure at load joints, the ones that will distribute the uniform load during regular flying. Laser welding and FSW are the best options for these extreme applications because of their high precision and thermal control.

Joints in Engines and High-Temperature Components: Precision welds in titanium alloys or other temperature-resistant materials are common use, such as for joints in rocket propulsion systems. Laser welding can be performed without damaging the mechanical properties of these delicate engine components which makes it suitable for these applications.

Specific Advantages: Welds afford substantial benefits in all of these elements, weight savings, reduced unit assembly time and cost. They also enable more extensive customization of the aircraft configuration, enhancing both performance and mission adaptability for each individual airframe.

Welding methods for aircraft

In the aerospace industry, welding techniques must be tailored to materials and precision requirements. The most relevant methods include:

Friction Stir Welding (FSW): This method has a rotating tool that generates friction and heat, this fuses the material without the need of applying external heat. The results obtained are strong joints and a very low probability of preenting defects such as cracks and porosity, which is crucial in the structure of fuselages and wings. FSW is mostly used for aluminum alloys.

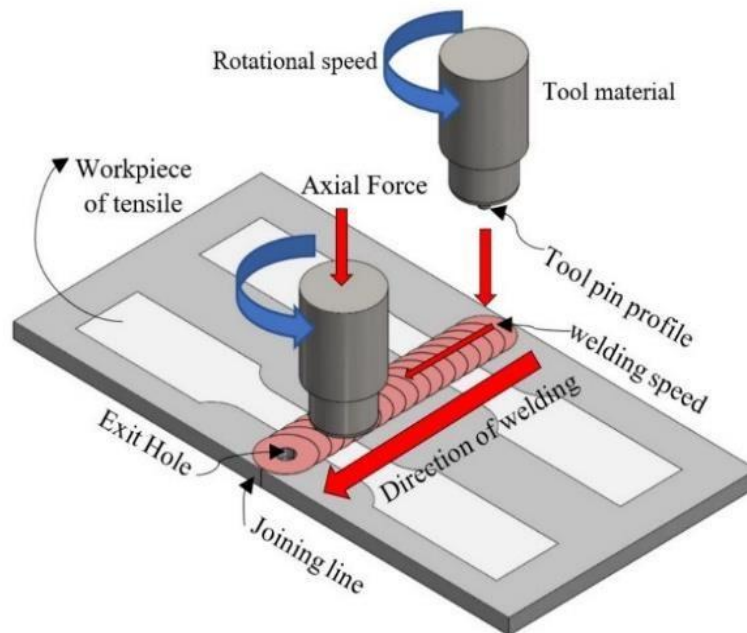


Fig. 2. Friction Stir Welding [2]

Laser Welding: Laser welding is very precise and it is the better option when working on components that require strict thermal control, such as titanium and some aluminum alloys. Its precision allows for minimizing the heat-affected zone (HAZ), so there is a lower risk for appearing deformations and residual stresses in the joint.

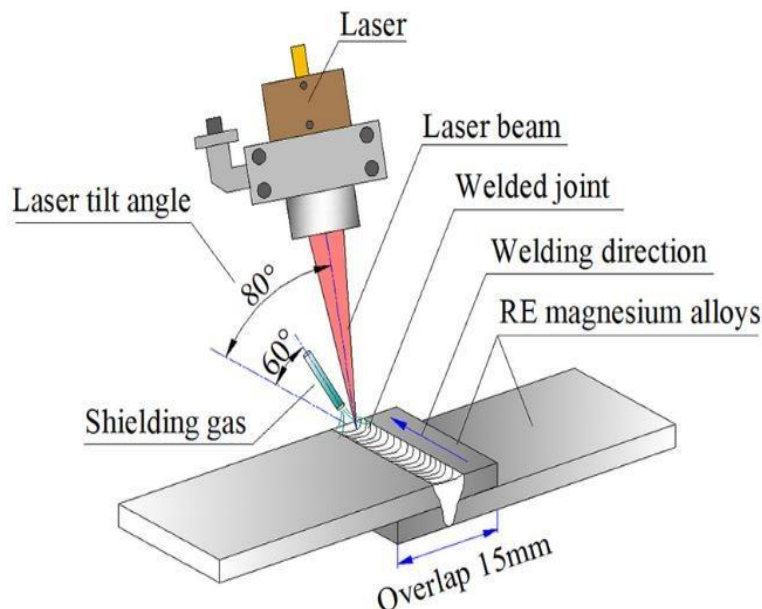


Fig. 3. Laser Welding [2]

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG): This method is more traditional, although, TIG is valued in the aerospace industry for its precise control over the electric arc and filler material. It is suitable for repairs and parts that require high-quality manual welds.

TIG WELDING

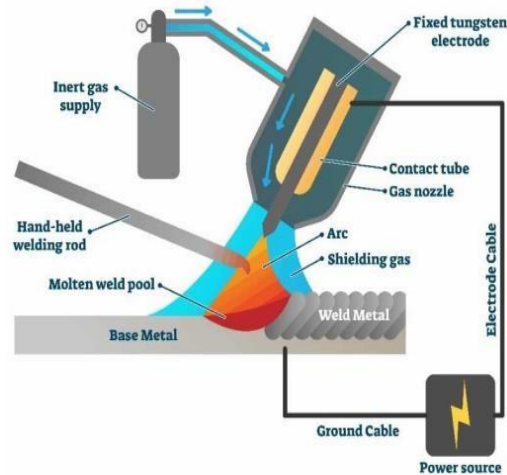


Fig. 4. Gas Tungsten Arc Welding [2]

Issues and challenges:

Common Defects: Porosity, cracks, and deformations are common defects that can appear in welded joints, and this can affect structural integrity. Porosity is caused by trapped gases in the molten material, while cracks can develop due to residual stresses. These defects are critical since aircraft are subjected to cyclic loads that increase the risk of crack propagation.

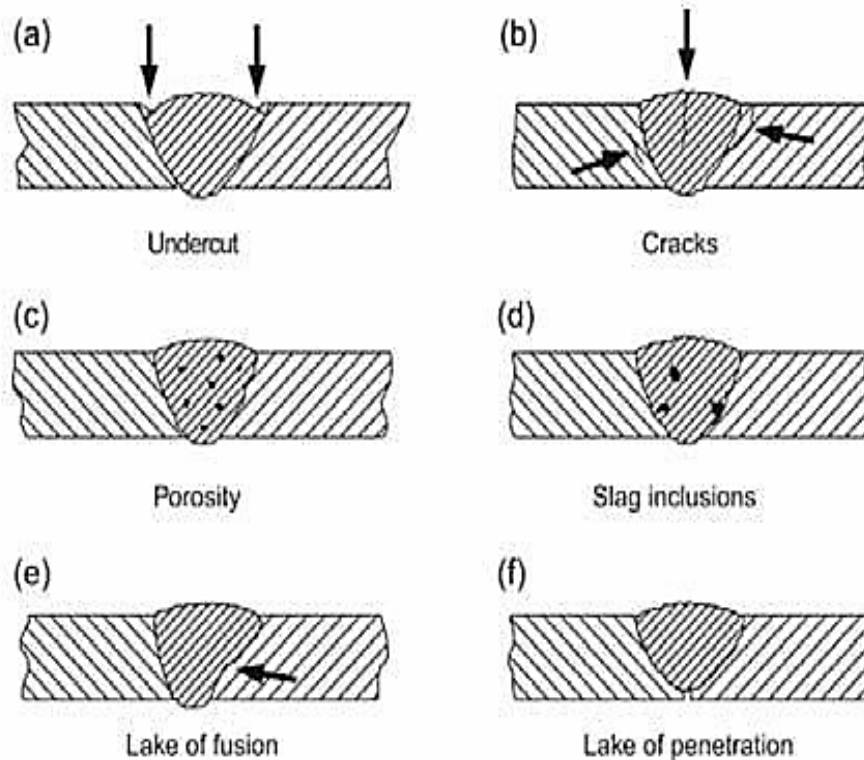


Fig. 5. Common welded defects [1; 2]

Mechanical Properties: Welding adversely affects properties like fatigue strength and load cycling, which is a particular issue for aerospace. Heat treatments and welding techniques that minimize residual stresses and distortions are used to mitigate these effects.

Non-Destructive Testing (NDT) Inspection: NDT inspections are also considered necessary for inspection as welds are a vital safety element of an aircraft. These methods like ultrasound method, x-rays as well as liquid penetrant testing enable the detection of internal defects and thus also securing quality within without damaging it. These tests are kept in aerospace, they are often performed during manufacture and maintenance.

Conclusion

While welded joints can provide numerous advantages such as weight reduction, cost savings, and efficiency in assembly for the aerospace industry. But they are suspected of having defects that one can do structural safety control on. However, these challenges are being overcome through NDT testing coupled with advancements in welding techniques.

1. Welds afford substantial benefits in all these elements, weight savings, reduced unit assembly time and cost. Applications of welding in aircraft components: fuselage: wings and control surfaces: joints in engines and high-temperature components.

2. Friction Stir Welding and laser welding are preferred for more complex applications where the structure and the precision are very important. Gas Tungsten Arc Welding is more suitable for repairs and smaller-scale work. Each method has its advantages and disadvantages, and the choice depends on the materials and specific application required for the aircraft.

References

1. Welding vs. Riveting for Fusing Custom Sheet Metal Parts. Precision Sheet Metal Fabrication, Prototype Sheet Metal, Sheet Metal Design, Welding. June 26, 2023. <https://www.approvedsheetmetal.com/blog/welding-vs-riveting-fusing-custom-sheet-metal-parts>
2. Welding of Aeronautical Components. Total Materia AG. <https://www.totalmateria.com/en-us/articles/welding-of-aeronautical-components/>

SUVIRINČIŲ SUJUNGIMŲ YPATUMAIŲ LĖKVIUOSE TYRIMAS

Santrauka

Šiandien aviacijos suvirinimas patiria tam tikrą slėgį. Svarbiausias suvirintų jungčių naudojimo aviacijos ir kosmoso sektoriuje pranašumas yra galimybė gaminti monolitines dalis, pašalinant daugybę papildomų jungčių ar tvirtinimo detalių, reikalingų surinkimo metu. Medžiagos, naudojamos orlaivių suvirintuose sujungimuose, turi atitikti griežtus stiprumo, lengvumo ir ilgaamžiškumo reikalavimus, nes lėktuvo konstrukcija yra veikiamą ekstremalių įtempių, vibracijos ir kintančių temperatūrų sąlygų. Šiame darbe aptartos priežastys, dėl kurių suvirintos jungtys tapo patraukliu ir efektyviu šiuolaikinių orlaivių gamybos ir remonto pasirinkimu, tiriant medžiagas, suvirinimo procesus ir tikrinimo metodus.

IMPACT OF COUPLING APPLICATION ON ENSURING THE FUNCTIONALITY OF AIRCRAFT COMPONENTS

Guzmán Ortega Muñoz, Esmeralda Štys

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Aircraft couplings play a fundamental role in the transmission of force and movement between the different systems that make up the aircraft. A detailed analyses of couplings used in aircraft based on different criteria such as the type of movement transmitted, the function they perform, the coupling mechanism and their specific application within the aircraft system. Key factors in the selection of a coupling, such as operating conditions, alignmentability, durability, weight and compatibility with other systems, must be carefully evaluated to ensure that the coupling meets the technical and operational demands of each application.

KEW WORDS. Couplings, Aircraft couplings, propulsion systems, control systems

Introduction

In the aeronautical context, couplings are defined as devices or systems that connect and transmit forces and movements between different components of an aircraft. Its main function is to facilitate the transfer of power, control the interaction between systems and guarantee the structural integrity of the aircraft. Couplings can be found in various parts of the aircraft, such as in propulsion systems or control systems.

Couplings must be able to withstand the dynamic and static loads to which they are exposed during flight, as well as tolerate vibrations and relative movements of the components they connect.

As it directly impacts the performance, safety and operational efficiency of the aircraft problem is focused in the correct selection and design.

Research object: application of couplings in aircrafts.

Research aim: highlight the key factors for application of couplings in aircrafts.

The tasks:

1. Analyze influence of the correct selection of the type of coupling.
2. Describe factors considering the selection of couplings.

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Applications of couplings

Analysing each type of couplings team of researchers [1] studied a comprehensive view of their importance and their contributions to the safe and efficient operation of aircraft is significant.

In our research we analysed coupling role in aircraft propulsion and control systems according to the type of movement transmitted.

Depending on the specific needs of each application, couplings can be designed to transmit motion directly or with a degree of flexibility. This makes it possible to identify which type of coupling is most suitable for each mechanical connection, considering factors such as shaft alignment, vibrations and possible misalignments during operation. The correct selection of the type of coupling directly influences the efficiency, safety and durability of an aircraft's systems.

Rigid couplings do not allow relative movements between the coupled elements. They are used in applications where alignment is precise and no adjustments are required, such as in some straight-line transmission or control systems.



Fig. 1. Rigid Couplings [1]



Fig. 2. Flexible Couplings [2]

Flexible couplings allow a certain degree of flexibility, absorbing small misalignments and vibrations. They are common in aircraft engines, where they can absorb deformations and shocks.

Couplings in an aircraft according to the specific function are important within the aircraft's various systems. Each type of coupling is designed to serve a particular purpose, whether it is to transmit power between motor components, protect mechanisms from overloads, or enable the proper operation of control systems. This helps identify the most suitable couplings for different applications, ensuring that each mechanical connection meets operational requirements, improving system efficiency and contributing to the overall safety of the aircraft.



Fig.3. Power Transmission Couplings [1]



Fig. 4. Safety Couplings [2]

Power transmission couplings, used to transmit power between different parts of the system, such as between the motor and the compressor or electric generator. Safety couplings designed to protect systems from damage in the event of overloading. They can slide or disconnect when a certain torque is reached.

Aircraft couplings are essential devices for transmitting movement between different mechanical components, ensuring the proper functioning of systems such as propulsion, control, and power transmission. Depending on the coupling mechanism used, these can be different with specific characteristics that allow efficiency and operational safety to be optimized. Aircraft couplings according to the type of connection are established considering their applications, advantages and limitations.



Fig. 5. Gear Couplings [1]



Fig. 6. Friction Couplings [1]



Fig. 7. Magnetic Couplings [2]

Gear couplings use internal or external gears to transmit movement. They are used where a robust coupling with high torque capacity is required. Friction couplings use friction surfaces to transmit motion. They are found in brake and clutch systems. Magnetic couplings transmit motion without direct contact, using magnetic fields. They are useful in systems where minimizing wear or contamination is required.

Aircraft couplings play a fundamental role in the transmission of force and movement between the different systems that make up the aircraft. Depending on the specific application for which they are designed, couplings can be various, each aimed at fulfilling particular function in critical systems such as propulsion, hydraulic systems, flight controls, among others. This allows the most appropriate type of coupling to be selected according to the operational requirements and operating conditions of each system, guaranteeing the reliability and performance of the aircraft in various flight situations.



Fig. 8. Control System Couplings [1]



Fig. 9. Engine Transmission Couplings [1]



Fig. 10. Hydraulic Couplings [2]

Control system couplings used in flight control mechanisms, such as systems that connect actuators to flaps, ailerons, or elevators. Engine transmission couplings involve the connection between the engine and other components such as the compressor, generator, or rotor in helicopters. Hydraulic couplings in aircraft hydraulic systems connect pumps or actuators.

Materials. Couplings used in aircraft must meet strict requirements for strength, durability and reduced weight due to the high operational demands to which they are subjected. As such, material selection plays a crucial role in the design and performance of these components.

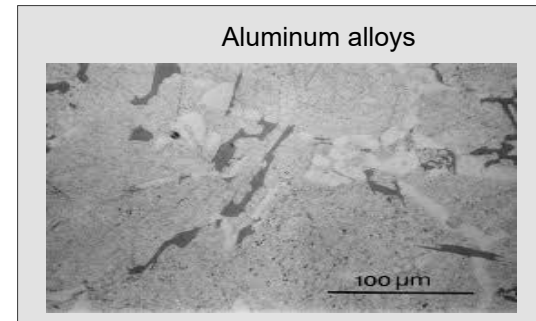
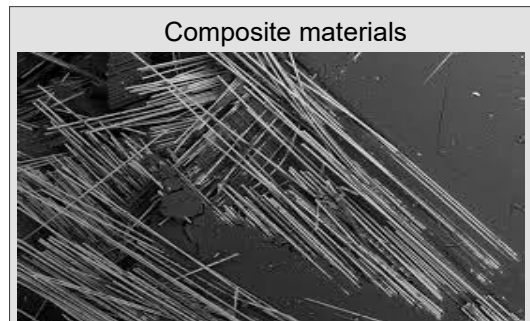
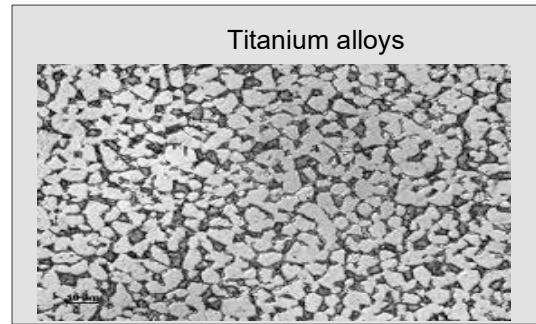
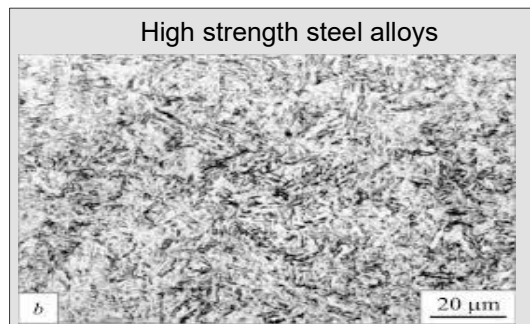


Fig. 11. Selection of material for couplings [created by authors]

Factors to consider in coupling selection

Selecting the right coupling for an aeronautical system is a critical process that depends on multiple factors, as its performance has a direct impact on the safety, reliability and operational efficiency of the aircraft. The following are the most relevant factors to consider when choosing a coupling:

- Type of movement and load. The coupling must be able to transmit the type of motion required (rotational, linear, or mixed) and withstand the dynamic and static loads generated by the aircraft systems. It is crucial that the coupling not only withstands loads during normal operation but is also able to withstand transient overloads or torque spikes without failing.
- Alignment and misalignment tolerances. A coupling must be able to compensate for the misalignment between the connected shafts, which can be either angular, radial or axial. Aeronautical systems are subject to vibrations and movements that can cause misalignment, so it is important to select couplings that can tolerate these types of variations without compromising their performance.
- Operating conditions. Environmental and operational conditions, such as extreme temperatures, humidity, exposure to chemicals, and vibrations generated during flight, must be taken into account. Some couplings are specifically designed to withstand severe conditions, while others offer flexibility in their use.

- **Durability and maintenance.** In aviation, reliability is paramount. Couplings should be selected according to their ability to operate for long periods without the need for frequent maintenance. The life of the coupling, the type of material, and its resistance to wear, fatigue, and corrosion are key factors in ensuring reliable performance over the life of the aircraft.
- **Compatibility with the propulsion system and other components.** Compatibility between the dock and the system in which it is to be installed is essential. This includes compatibility with motors, generators, pumps, or any other components it connects to. Verify that the coupling design and specifications match the dimensions and requirements of the system, including the ability to transmit the necessary power.
- **Weight and available space.** In aeronautics, weight is a critical factor. Couplings should be lightweight but robust enough to fulfil their functions. In addition, they must be adapted to the space available in the aeronautical system, especially in areas with size or space restrictions.

Conclusion

Aircraft couplings is a fundamental aspect to guarantee the efficiency, safety and reliability of aeronautical systems. Detailed knowledge of the different types of couplings allows aeronautical engineers to select the most suitable solutions for each situation, contributing to the development of safer, more efficient and sustainable aircraft.

1. Throughout this work we have explored how couplings, depending on their coupling mechanism and their specific application, play a crucial role in the transmission of energy and movement between the various components of the aircraft. From propulsion systems to flight controls and hydraulic actuators, choosing the right type of coupling is essential to optimize aircraft performance and minimize the risk of mechanical failures.

2. Key factors in the selection of a coupling, such as operating conditions, alignment ability, durability, weight and compatibility with other systems, must be carefully evaluated to ensure that the coupling meets the technical and operational demands of each application. In addition, technological evolution and advances in materials and designs continue to drive improvements in the efficiency and reliability of these components.

References

1. Coupling Dynamics in Aircraft: A Historical Perspective. NASA Special Publication. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19970019603/downloads/19970019603.pdf>
2. DACouplings. Dry Aviation Couplings. Aviation. Mann Tech. British Aerospace Specification 2C14 <https://www.gasso.pl/materialy/katalogi/suchozlacza/LOTNICZE.pdf>

MOVŲ TAIKYMO ĮTAKA LĖKTUVO MAZGŲ FUNKCIONALUMUI UŽTIKRINTI

Santrauka

Orlaivių jungtys atlieka pagrindinį vaidmenį perduodant jėgą ir judėjimą tarp skirtingų orlaivį sudarančių sistemų. Išsami orlaivyje naudojamų movų analizė, pagrįsta skirtingais kriterijais, tokiais kaip perduodamo judėjimo tipas, jų atliekama funkcija, sukabinimo mechanizmas ir konkretus jų taikymas orlaivio sistemoje. Pagrindiniai movos pasirinkimo veiksniai, tokie kaip eksploatavimo sąlygos, suderinamumas, ilgaamžiškumas, svoris ir suderinamumas su kitomis sistemomis, turi būti kruopščiai įvertinti, siekiant užtikrinti, kad mova atitiktų techninius ir eksploatacinius reikalavimus.

APPLICATION PECULIARITIES OF MATERIALS FOR BELT TRANSMISSION IN AIRCRAFTS

Miguel Crespo Perea, Esmeralda Štyps

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

Nowadays, with advancements in technology, belts are mainly made from reinforced synthetic materials, such as polyurethane or rubber armoured with fiberglass or polyester. This paper covers the basics of belt transmission, including the main types and how they work, with a focus on their applications in aircraft. It also looks at the pros and cons of using belts compared to other methods and explains why belt transmission remains a practical solution in some auxiliary systems today.

KEW WORDS. Belt transmission, pros and cons, auxiliary systems.

Introduction

In mechanics, transferring power effectively is essential for operating many machines and systems. Belt transmission is one of the most common ways to move mechanical energy, and it's used in everything, from industrial machines to car engines and aircraft. Belt-pulley systems are widely used in the industry due to their high efficiency and their low cost.

In the aerospace sector, belt transmissions are rarely used in primary propulsion systems, but they play an important role in auxiliary systems within aircraft, such as ventilation fans, auxiliary power units (APU), and cooling systems. Those systems need to transfer power in a lightweight and reliable manner. In this context, the design and materials of the belts must withstand high vibration levels, extreme temperatures, and extended periods of operation.

Research object: peculiarities of belt transmission in aircrafts.

Research aim: foresee the using peculiarities of belt transmission in aircrafts.

The tasks:

1. Analyze performance of belt transmission.
2. Describe advantages and disadvantages of using belt transmission in aircrafts

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Belt transmission types in aircraft

Nowadays, with advancements in technology, belts are mainly made from reinforced synthetic materials, such as polyurethane or rubber armoured with fiberglass or polyester. In the past, belts were made of basic materials like leather or ribbed cotton, which had less flexibility and were not so durable [1; 2]. In our modern era, there are many belt transmission forms, materials, even configurations (crossed, standard...) [3].

In this research we are going to focus on the main belt types in a standard configuration. We could talk about three main types of belts: flat, V-shaped and ribbed belts.

Flat belt: Flat belts have a rectangular cross-section making them perfect for simple power transmission. These belts are cheaper and generally operate on smaller pulleys, although they require high tension. Additionally, they produce more noise and have lower efficiency at higher speeds, so they are commonly used in industrial machines rather than aircraft.

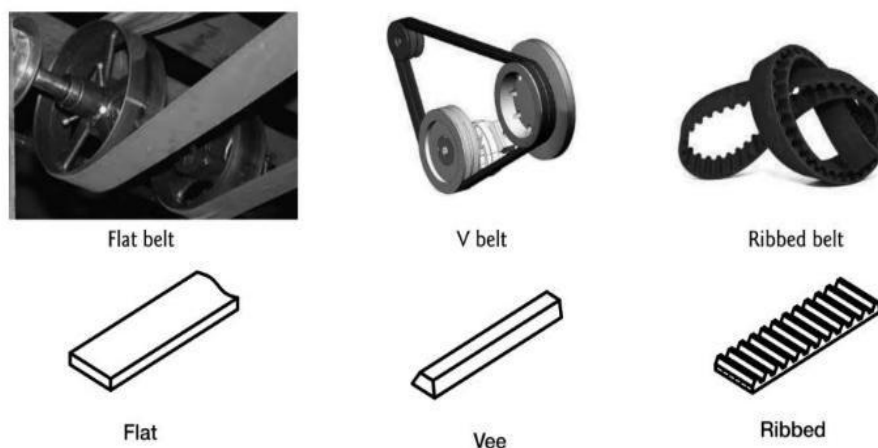


Fig. 2. Illustration of the three main types of belts used in power transmission [4]

V-Shaped belt: V-shaped belts, first developed by John Gates in 1917, have a trapezoidal cross-section that fits into their corresponding grooves on pulleys. This design reduces slippage and alignment issues, providing efficient power transmission. V-belts are preferred in aerospace sector because they transmit greater torque with minimal tension, and they offer good performance in terms of friction and heavy loads. V-belts also have a long operational life (3-5 years).

Ribbed belt: Ribbed belts, a more modern design, combine aspects of both flat and V belts, featuring multiple ribs along the length of the belt, which fit very precisely into the pulley gaps. These ribs increase the belt's contact area, improving grip and power transfer efficiency, especially at higher speeds. This design is especially useful in applications where space is limited, but precision is essential, such as ventilation or cooling systems.

Characteristics of belt transmission. Belt transmission is a type of mechanical transmission based on the union of two or more pulleys, subject to a rotational movement.

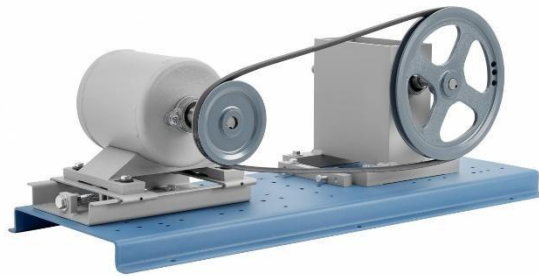


Fig. 1. Basic belt transmission configuration: a motor connected to a drive pulley with a belt to transfer motion and power. [1]

A belt embraces the pulleys exerting frictional force supplying them with energy from the conductive pulley. The power transmitted between a belt and a pulley is expressed as:

$$P = (T_1 - T_2)v \quad [\text{Watts}] \quad (1)$$

Where: P - Power transmitted between band and pulley; T_1 - Tension on the tight side of belt; T_2 - Tension on the loose side of belt; v - Band speed.

On a belt transmission, there is a tight side, and a loose side. The tight side is the part of the belt connected to the engine, which pulls from it; whereas the loose side is connected to the pulley.

This difference in tension indicates how much work the belt is doing, and by multiplying it by the speed, it gives us the work per unit of time; thus, the power.

$$P = (T - T_2)v = [(N) \cdot m/s] = [Watt] \quad (2)$$

$$\text{Where: } T = [N]; W = F \cdot \text{distance} [Nm]; v = [m/s]; P = \frac{W}{t} [Watt]; t = [s]$$

Advantages and disadvantages of using belt transmission in Aircrafts

Advantages using belt transmission:

- Lightweight. Belt systems are generally lighter than alternatives like gears or chains, reducing weight on the aircraft.
- Simplicity and cost. They are simpler in design, leading to lower manufacturing and installation costs.
- Vibration and noise. Belt tends to absorb vibrations more effectively than gears or chains, which results in smoother and quieter operation.
- Easy maintenance. Belts are relatively easy to maintain or even replace.

Disadvantages using belt transmission:

- Wear. They can wear out over time, requiring regular inspections.
- Environmental conditions. Belts can be affected by extreme temperatures, humidity as well as other factors. They have to be made of special materials, such as reinforced polymers.

- Slippage. If not properly tensioned, they can reduce their efficiency in power transmission and increase wear.
- Limited operating speed. These systems have a maximum operating speed, which, depending on the application, can be a limitation.

Conclusion

1. Belt transmission systems are still useful in the aerospace industry, offering benefits such as lightweight construction, simplicity in design, and cost-effectiveness, which contribute to improved aircraft performance and fuel efficiency.

2. However, challenges like wear over time, sensitivity to environmental conditions, slippage, and limited operating speeds must be addressed to ensure reliability in critical applications. As advancements in materials and engineering continue, belt transmission could enhance its performance and applicability in aviation, allowing engineers to optimize designs.

References

1. Singh, A. (2017). Fundamentals of Machine Design: Volume 2. Reino Unido: Cambridge University Press.
2. Golenko, A. (2010). Fundamentals of Machine Design: A Coursebook for Polish and Foreign Students. Wroclaw University of Technology.
3. Unknown author. (2020). Design of test stand for aircraft propulsion systems. Faculty of Power and Aeronautical Engineering, Warsaw University of Technology.
4. Lindermeir, A., Kah, S., Kavurucu, S., & Mühlner, M. (2007). On-board diesel fuel processing for an SOFC–APU—Technical challenges for catalysis and reactor design. *Applied Catalysis B: Environmental*, 70(1– 4), 488-497. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337306002074>

MEDŽIAGŲ TAIKymo DIRŽINĖS TRANSMISIJOS YPATUMAI LĖKVIUOSE

Santrauka

Tobulėjant technologijoms, diržai daugiausia gaminami iš sustiprintų sintetinių medžiagų, tokių kaip poliuretanai arba guma, sustiprinto stiklo pluoštu arba poliesteriu. Šiame straipsnyje aptariami diržo perdavimo ypatumai, įskaitant pagrindinius tipus ir jų veikimo būdą, daugiausia dėmesio skiriant jų pritaikymui orlaiviuose. Nagrinėjami diržų naudojimo privalumai ir trūkumai, lyginant su kitais metodais, ir paaiškinama, kodėl diržinė transmisija šiandien išlieka praktiškas sprendimas pagalbinėse orlaivio sistemose.

PERFORMANCE CHARACTERISTICS ANALYSES OF A NOZZLE

Diego Hernández Reques, Štýps Esmeralda

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Summary

The main focus of this research is to give a basic perspective in the study of different propulsion fundamentals, that emerges directly from the thermodynamic scope of the subject, that is the father to propulsion elements.

KEY WORDS. Nozzle, rocket thrust chamber, rocket heat transfer.

Introduction

As future aerospace engineers, the thermodynamic study of different elements in the space industry is essential to understand the whole design process for these innovations.

In order to understand how a Rocket Engine is designed and worked the concise description of the functioning of the various components that constitute a rocket engine can be founded. As there are rare studies on some of the key characteristics and theorems for its operation our study focused on the way to approach the problem by dissecting it in different parts to relate them to theory.

Research object: constraints for a nozzle.

Research aim: establish the basics design constraints for a nozzle.

This research centres its efforts in two main points:

- 1) theoretically base chemical rockets,
- 2) the main parameters that describe the rocket performance,

Research methods: analysis of technical documents, analysis of analogues.

Chemical rocket thrust chambers

The Chemical Rocket Thrust Chambers is a key component of a rocket's propulsion system. It is the part of the system where the propellant is injected, mixed and burned, and subsequently ejected at extremely high velocities in order to generate thrust (Sutton & Biblarz, 2016b, p. 295).

Each Rocket Thrust Chamber contains at least an injector, a combustion chamber, an exhaust nozzle and a cooling system, although it often also includes an igniter (Sackheim, 2003). More complex Thrust Chambers also include some other parts, such as vector control devices or propellant valves (Sutton & Biblarz, 2016b, p. 295).

In order to prevent these complex systems from melting, various designs exist that enable temperature reduction. Depending on the scenario in which these Chemical Rocket Thrust Chambers are to be utilized, a specific method will be employed.

One of these systems is Regenerative Cooling. This approach was first proposed by Tsiolkovski and Carl Wilhelm Siemens towards the early 20th century (Luo et al., 2021) (*US8080A - Improved Process for the Artificial Production of Ice - Google Patents*, n.d.). It comprises a series of ducts in the rocket engine walls through which the fuel is forced. This method is effective since the fuel is often in a cryogenic state, due to convection of the fuel and conduction of the inner wall of the combustion chamber. Once this process has been completed, the fuel is usually injected directly into the combustion chamber.

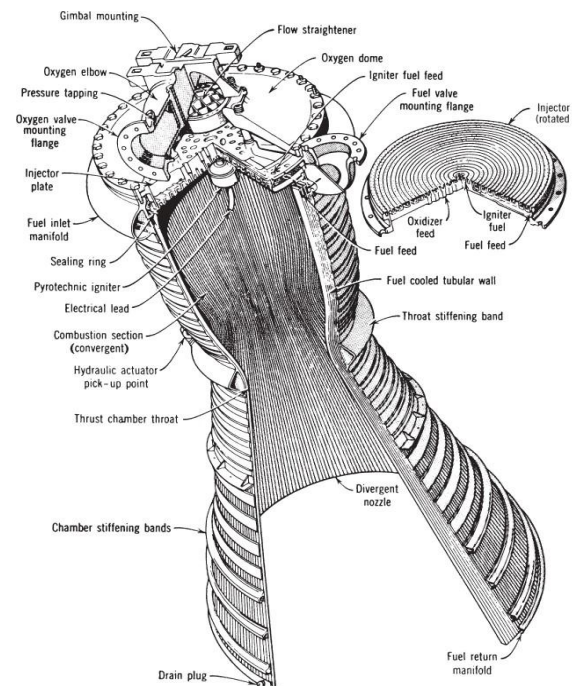


Fig. 1 Chemical Rocket Thrust Chambers
(Sutton & Biblarz, 2016b, p. 295)

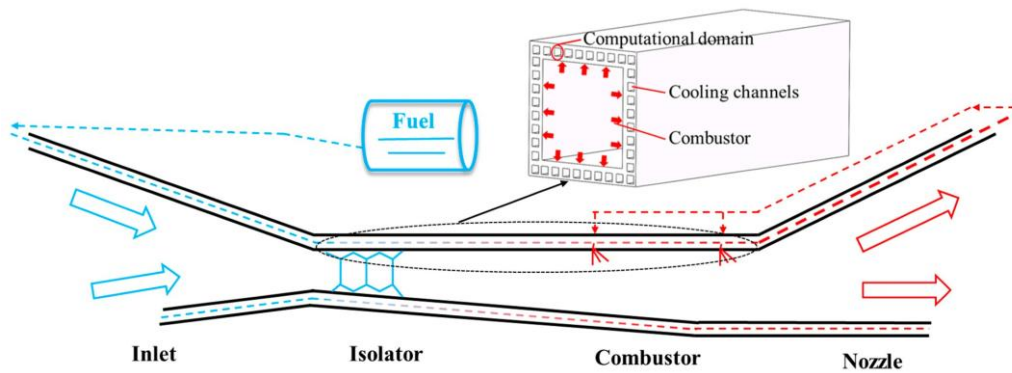


Fig. 2. Regenerative Cooling representation in a Scramjet (Liu et al., 2023)

Radiative cooling is another cooling technique. This is normally used in the vacuum of space and consists of the radiation of the heat generated by the spacecraft's engine into space. This cooling method plays a key role in space, since with no air particles through which to conduct heat, radiation heat dissipation assumes a very important role. (Wessels, 2023)



Fig. 3. Red-Hot SpaceX's Merlin Vacuum Engine (Zafar, 2022)

A further cooling method widely used in Chemical Rocket Thrust Chambers is Ablative Cooling. This method involves a sacrificial material (ablative liner) which is gradually eroded and decomposed, creating a buffer gas layer (Geeks, 2023) (*Heat Transfer and Cooling*, MIT OpenCourseWare). This is a region of gas that is used to insulate certain surfaces, thereby preventing them from thermal decomposition.

This approach is very simple, reliable and easy to manufacture, resulting in a relatively inexpensive method of thermal protection for a rocket engine (Richter & National Aeronautics and Space Administration [NASA], 1995). However, it also leads to some erosion on the surface layer of the engine.

Therefore, it is not as effective on reusable engines, as it can compromise mission performance (Geeks, 2023).

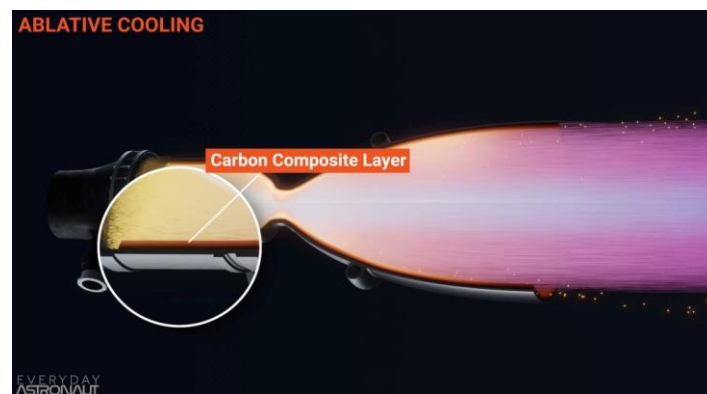


Fig. 4. Carbon Composite Layer used as Ablative Liner (Percival, 2022)

Materials used in Chemical Rocket Thrust Chambers. The materials from which these complex machines are manufactured constitute an additional determining factor for the correct operation of them. The material choice depends on other parameters, such as the maximum permissible wall temperatures or the composition

of the hot gasses with which the components are in contact (Sutton & Biblarz, 2016b, p. 304). Another determining factor is the type(s) of the cooling system used.

Copper and some of its various alloys are widely applied due to their excellent thermal conductivity and corrosion resistance. This is a key consideration as a material lacking this feature could be severely weakened by chemicals ejected during combustion (Sutton & Biblarz, 2016b, p. 304). Owing to this outstanding conductivity, it is mainly used in combination with regenerative cooling systems, as it helps to maintain a steady-state heat transfer.

Carbon material represents another family of materials that is extensively used, specifically, as an ablative liner. This is due to its low density, which allows its volume to be greater than that of steel, enhancing its ability as an ablative material. At the same time, its low density allows the possibility of reducing weight by up to 90% without sacrificing other ablative properties of interest (Portocarrero Hermann et al., 2019).

Performance characteristics

Thrust (F): The force produced by the rocket motor to propel the rocket forward. It is typically measured in Newtons (N) or pounds of force (lbf).

$F = \dot{m} V_e + (p_e + p_o) A_e$		
$\dot{m}$: Mass Flow Rate	V_e : Exit Velocity	p_e : Exit Pressure
p_o : Free Stream Pressure	A_e : Exit Area	

Rocket thrust equations (NASA, n.d.)

Mass Flow Rate ($\dot{m}$): The mass of matter which passes through an area per unit of time. Measured in kilograms per second (Kg/s) or pounds per hour (lb/h)

$\dot{m} = \rho v A$		
ρ : Density	v : Velocity of the fluid	A : Area of the cross-section

Mass flow rate (NASA, n.d.)

Specific Impulse (Isp): Measure of the rocket's efficiency in converting propellant mass into thrust. Usually expressed in seconds (s). Isp value is directly proportional to the rocket's efficiency.

$I_{sp} = \frac{V_e}{g}$		
V_e : Exit Velocity	g : Gravity	

Specific impulse (NASA, n.d.)

Total Impulse: The total impulse generated by the rocket over its burn time, often measured in Newton-seconds (Ns) or pound-seconds (lbf·s).

$I = F \Delta t$	
F : Thrust	Δt : Time interval

Total impulse (NASA, n.d.)

Exit Velocity (v_e): Fluids Velocity at the exit of the Rocket. Measured in meters per second (m/s) or feet per second (ft/s).

$v_e = \sqrt{\left(\frac{2k}{k-1}\right) \cdot R \cdot T_e \cdot \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$		
k : Adiabatic Coefficient	T_e : Exit Temperature	R : Ideal Gas Constant
P_i : Inlet Pressure	P_e : Exit Pressure	

Exit Velocity (NASA, n.d.)

Specific Power: Refers to the amount of power per unit of mass consumed. A high Specific Power indicates that the Rocket is able to produce a high amount of Thrust relative to the quantity of propellant consumed.

$P_{Specific} = \frac{F I_{sp} g}{\dot{m}}$		
F: Thrust	I_{sp} : Specific Impulse	g: Gravity
$\dot{m}$: Mass Flow Rate		

Specific Power (NASA, n.d.)

Burn Time: The duration for which the rocket motor operates, providing thrust. This depends on the amount of propellant and the thrust profile.

Thrust-to-Weight Ratio (TWR): Ratio of the rocket's thrust to weight, determines its ability to accelerate.

Chamber Pressure: Pressure inside the combustion chamber of the rocket during operation. It affects the rocket's performance and structural requirements.

Conclusions

One of the main objectives of this work was learning the multiple applications of the theory in the aerospace industry. To go in depth for the results analysis, the statements are divided into main performance characteristics and the thrust calculus with different initial conditions:

- The specific impulse is directly related to rocket efficiency; this value gives a rapid insight of the thrust parameter on the rocket. Two different rocket engines will have a different specific impulse, the higher specific impulse the better efficiency. Compared to a rocket as the Falcon 9, with a specific impulse of 282s at sea level, with our specific impulse computed to be 208,696s it is a value that makes sense given the dimensions of the nozzle found on later questions.
- At 30 km height: In this value we can observe a low increase in the thrust, justified by the atmosphere lower ambient pressure, that in this case it is equal to exit pressure to satisfy ideal nozzle performance conditions, this change represents an increase in exit velocity, that is directly related to the thrust coming out of the nozzle.

References

- 1) Sackheim, R. L. (2003). Spacecraft Chemical Propulsion. In *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition). <https://doi.org/10.1016/b0-12-227410-5/00904-2>
- 2) Luo, S., Xu, D., Song, J., & Liu, J. (2021). A review of regenerative cooling technologies for scramjets. *Applied Thermal Engineering*, 190, 116754. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116754>
- 3) *Encyclopaedia Britannica*. (n.d.). Heat capacity. <https://www.britannica.com/science/heat-capacity/>
- 4) *National Aeronautics and Space Administration* (n.d.). Rocket Thrust. Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rktthsum.html>
- 5) Wessels, W. (2023, May 27). How Rocket Engines Stay Cool And Don't Melt. Headed for Space. <https://headedforspace.com/how-rocket-engines-stay-cool/>
- 6) Geeks, L. (2023, October 23). Thrust Chamber Cooling Techniques: Enhancing Rocket Performance -. Lambda Geeks. <https://lambdageeks.com/thrust-chamber-cooling-techniques/>

Figures

- 1) Liu, J., Xu, M., Liu, P., & Xi, W. (2023). Heat transfer and flow structure characteristics of regenerative cooling in a rectangular channel using supercritical CO₂. *Aerospace*, 10(6), 564. <https://doi.org/10.3390/aerospace10060564>
- 2) Zafar, R. (2022, October 9). SpaceX's Rocket Engine Glows Hot Red While Travelling At 12,784 Km/h! Wccftech. <https://wccftech.com/spacexs-rocket-engine-glows-hot-red-while-travelling-at-12784-km-h/>
- 3) Sutton, G. P. (1963). *Rocket Propulsion Elements: An introduction to the engineering of rockets* (9th Edition). <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA17213189>

ANTGALIO VEIKIMO CHARAKTERISTIKŲ ANALIZĖ

Santrauka

Pagrindinis dėmesys skiriamas įvairių varomųjų elementų tyrimo pagrindinei perspektyvai, kuri tiesiogiai išplaukia iš ketinimo apskaičiuoti skirtingus projektinius parametrus, būtinus apibūdinti raketos pobūdį, pvz., trauką, masės srautą, išmetamųjų dujų greitį ir kt.

**INŽINERINIŲ IR BENDRŲJŲ KOMPETENCIJŲ TYRIMAI ĮGYVENDINANT MOKYMOSI VISĄ
GYVENIMĄ KONCEPCIJĄ**

SAUGAUS DARBO, SAUGAUS DARBO UŽTIKRINIMO ORGANIZACIJOJE, RIZIKOS TOLERANCIJOS IR NELAIMINGŲ ATSTITIKIMŲ DARBE SĄSAJOS

Ugnė Savanevičiūtė, Lina Girdauskienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Straipsnis analizuoja sąsajas tarp požiūrio į riziką, saugumo darbe ir nelaimingų atsitikimų darbo vietoje. Remiantis apklausos analizės empiriniais duomenimis, įvertinta, kaip darbuotojų elgsena, saugos žinios, darbovietės saugos taisyklių laikymasis ir požiūris į riziką susiję su nelaimingų atsitikimų dažnumu.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Rizika darbe, darbo sauga, nelaimingi atsitikimai, elgsena.

IVADAS

Darbo sauga ir rizikos valdymas yra svarbios šiuolaikinės organizacijos veiklos dalys, tiesiogiai susijusios su darbuotojų gerove ir organizacijos veiklos efektyvumu. Nepaisant nelaimingų atsitikimų prevencijos, saugos reguliavimo sistemų pažangos, nelaimingi atsitikimai ir sužalojimai darbo vietoje išlieka dažni. Nežiūrint prognozių, kad 2030 robotai pakeis 800 mln darbuotojų visame pasaulyje (McKinsey, 2017) nelaimingų įvykių darbe skaičius kelia nerimą. Kasmet nuo darbe patirtų traumų miršta daugiau nei 2.78 mln žmonių ir įvyksta 374 milijonai profesinių sužalojimų darbe (ILO, 2020). Be to, kaip rodo statistika, šis skaičius auga (2,3 mln mirties atvejų dėl sužalojimų darbe ir 317 mln. traumų darbe 2011 m., (ILO, 2011)). Šie nerimą keliantys skaičiai pabrėžia neatidėliotiną poreikį suprasti rizikos suvokimo, saugos elgesio ir nelaimingų atsitikimų darbo vietoje sąveiką.

Nelaimingų atsitikimų darbe finansinė našta yra stulbinanti. Tarptautinės socialinės apsaugos asociacijos (ISSA) vertinimai rodo, kad vien tik ne mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe išlaidos yra maždaug 4 procentai pasaulio bendrojo vidaus produkto (BVP) kiekvienais metais (ISSA, 2014). Tai apima tiesiogines išlaidas, tokias kaip medicininės išlaidos ir kompensacijos, taip pat netiesiogines išlaidas, įskaitant našumo praradimą, žalą reputacijai ir darbuotojų kaitą. Socialiniai padariniai taip pat kelia nerimą. Sužalotų darbuotojų šeimos dažnai patiria didelę finansinę įtampą, o psichologiniai padariniai, tokie kaip nerimas ar potrauminio streso sutrikimas (PTSD), dar labiau prisideda prie užsitiesusių pravaikštų ir pablogėjusios darbuotojų moralės (Hämäläinen ir kt., 2009). Todėl darbo sauga ir rizikos valdymas yra svarbios šiuolaikinės organizacijos veiklos dalys, tiesiogiai susijusios su darbuotojų gerove ir organizacijos veiklos efektyvumu. Nepaisant reguliavimo ir prevencinių priemonių, nelaimingi atsitikimai darbo vietose išlieka reikšminga problema daugelyje sektorių (Clarke, 2006).

Tyrimo tikslas yra ištirti darbuotojų, dirbančių pavojuose sąlygose, saugaus darbo, darbo sąlygų, rizikos tolerancijos ir nelaimingų atsitikimų darbe sąsajas. Šis tyrimas siekia išsiaiškinti, kiek darbuotojų požiūris į riziką lemia jų saugų elgesį darbe ir kiek organizacija gali prisidėti, formuodama saugaus elgesio nuostatas ir reikalaujama griežtai laikytis saugaus elgesio darbe taisyklių taip siekiant sumažinti nelaimingus atsitikimus.

Teorinis pagrindimas

Darbo sauga yra neatsiejama šiuolaikinių organizacijų veiklos dalis, tačiau saugi aplinka neatsiranda savaime – ji yra kompleksinių sprendimų ir suderintos sistemos rezultatas. Moksliniuose tyrimuose darbo sauga vis dažniau analizuojama kaip daugialypis fenomenas, kuriame susipina psichologiniai, socialiniai ir organizaciniai veiksniai (Neal, Griffin, 2002). Šios sąveikos esmė yra darbuotojų gebėjimas suvokti riziką, organizacijų sugebėjimas ugdyti tinkamą saugos kultūrą bei efektyvios prevencinės priemonės, mažinančios nelaimingų atsitikimų dažnį.

Analizuojant darbo saugą, svarbu atskirai aptarti pagrindinius aspektus: darbuotojų saugią elgseną, organizacijos požiūrį į saugumą ir nelaimingų atsitikimų vertinimą. Šie trys elementai sudaro pagrindą, kuriuo remiasi daugelis darbo saugos valdymo teorijų.

Tolerancija rizikai

Asmens noras elgtis nesaugiai vertinamas kaip rizikos toleravimas (Bhandari ir kt., 2019). Skirtingi žmonės turi skirtingą rizikos toleranciją. Bhandari ir kt. (2019) ištyrė rizikos tolerancijos lygio skirtumus tarp statybininkų (12 323 darbuotojai iš 19 šalių) ir nustatė statistiškai reikšmingus skirtumus. Deja, šiame tyrime dalyvavo tik vienos ES šalies -Ispanijos- atstovai, kurioje buvo nustatytas aukštas rizikos tolerancijos lygis. Aukštas rizikos tolerancijos darbe lygis buvo nustatytas ir pvz., Australijoje. Tuo tarpu Kinijoje nustatytas žemas rizikos tolerancijos darbe lygis. Vidutinis rizikos tolerancijos darbe lygis buvo nustatytas pvz. Turkijoje.

Deja, stokojama analogiškų tyrimų Lietuvai artimuose kultūriniuose socialiniuose kontekstuose, nekalbant jau apie rizikos toleravimo dirbant pavojingose sąlygose empirines išvalgas, nors yra nemažai tyrimų, įrodančių, kad tolerancija rizikai yra susijusi su nesaugiu elgesiu (Draper, 1986; Dohmen, 2009 ir kt.; Naoum ir kt, 2018; Low ir kt. 2019). Todėl galima teigti, kad tolerancija rizikai turi tiesioginį teigiamą poveikį nesaugiai elgsenai darbe.

Darbuotojo saugus elgesys darbe

Luger (2013) atkreipia dėmesį į „Health Beliefs“ modelį, kuris pabrėžia 8 kompetencijų, užtikrinančių saugią elgseną darbe, svarbą. Pažymėtinos tokios kompetencijos kaip suvokiamas jautrumas (perceived susceptibility), suvokiama veiksmo nauda (perceived benefits of taking action), suvokiamos kliūtis imtis veiksmų (perceived barriers to taking action), suvokiami signalai imtis veiksmų (cues to action) ir kt. Vis gi, saugi darbuotojų elgsena yra įvairių faktorių- tiek sąlygotų individo asmeninio požiūrio į riziką, tiek organizacijos suformuotų reikalavimų darbo saugumui išdava. Šį terminą vieni pirmųjų panaudojo Griffin ir Neal (2000). Low ir kt. (2019) tyrimo statybų sektoriuje rezultatai parodė, kad rizikos suvokimas ir darbo sąlygos neigiamai veikia statybininkų rizikingą elgesį, t.y kuo labiau jie suvokia riziką ir galimas rizikingo elgesio pasekmes ir kuo labiau organizacija užtikrina darbų saugumą bei reikalauja iš darbuotojų laikytis saugaus darbo taisyklių, tuo saugiau darbuotojai elgiasi. Saugi elgsena yra kiekvienos organizacijos siekis, užtikrinantis jos kaip socialiai atsakingos organizacijos įvaizdį, o žvelgiant iš pragmatizmo perspektyvos, eliminuojanti papildomas išlaidas, susijusias su nelaimingų atsitikimų kaštų kompensavimu. Vis gi saugi elgsena yra darbuotojo sprendimas, kurią tik iš dalies lemia organizacija. Todėl šio tarpinio konstrukto įtraukimas, parodant jo priežastines sąsajas tiek su organizacijos, tiek su asmenybės sąlygotu poveikiu, yra kritinis, formuluojant hipotezę, kad nesaugus darbas turi tiesioginį teigiamą poveikį nelaimingiems atsitikimams darbe.

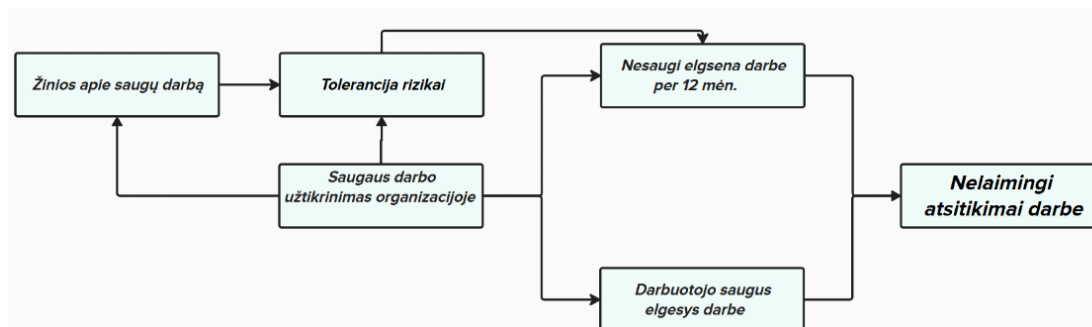
Saugaus darbo užtikrinimas organizacijoje

Darbuotojai, dirbdami pavojingose sąlygose, dažnai turi susidoroti ir su sudėtingomis techninėmis operacijomis ir tuo pačiu išlikti blaiviai ir atsakingai mąstantys (Grzywacz ir kt., 2016, Fang kt., 2016). Jung ir kt (2020) tyrimas statybos sektoriuje nustatė, kad darbuotojų saugi elgsena priklauso nuo jų turimų darbo saugos žinių, o dideli darbo reikalavimai ir kontrolės trūkumas neigiamai veikia darbuotojų saugią elgseną. Todėl galima teigti, kad organizacijos užtikrinamas saugumas darbe turi tiesioginį neigiamą poveikį nesaugiam darbui.

Nelaimingi atsitikimai

Nelaimingi atsitikimai yra galutinis priklausomas kintamasis, kurio svarba grindžiama faktu, kad kasmet nuo darbe patirtų traumų miršta daugiau nei 2.78 mln žmonių ir įvyksta 374 milijonai profesinių susižalojimų darbe (ILO, 2020). Be to, kaip rodo statistika, šis skaičius auga (2,3 mln mirties atvejų dėl susižalojimų darbe ir 317 mln. traumų darbe 2011 m., (ILO, 2011)). Tradiciškai nelaimingi atsitikimai yra matuojami nelaimingų atsitikimų skaičiumi ar mirčių kiekiu (Wu, 2018). Griffin ir Neal (2000) pasiūlė alternatyvą nelaimingų atsitikimų vertinimui, įvesdami saugios elgsenos terminą, kuriame išskyrė dvi subdimensijas: saugos taisyklių laikymasis ir dalyvavimas saugume. Vis gi toks atitikmuo yra diskutuotinas. Pateikiame modelyje vis gi vadovaujamasi kita prieiga, ir saugi elgsena yra traktuojama ne kaip galutinė, o tarpinė dedamoji. Įvertinant tyrimo metodologinę prieigą – kiekybinį tyrimą pasitelkiant anketinę apklausą- nelaimingų atsitikimų konstruktas vertinamas per subjektyviąją nelaimingo atsitikimo nuojaautos prizmę.

Darbo saugos valdymas yra glaudžiai susijęs su darbuotojo elgsenos, organizacijos požiūrio į saugumą ir nelaimingų atsitikimų sąveika, formuojančia dinamišką sistemą (žr. 1 pav.).



1 pav. Šaltinis: sudaryta autorių

Darbo saugos užtikrinimas organizacijoje daro tiesioginę įtaką darbuotojų žinioms apie saugų elgesį, o šios žinios kartu su organizacijos pastangomis mažina toleranciją rizikai. Sumažėjusi rizikos tolerancija ir gerai organizuotas saugaus darbo valdymas skatina darbuotojų saugų elgesį bei mažina nesaugaus elgesio atvejus. Savo ruožtu, mažėjantis nesaugaus elgesio rodiklis prisideda prie nelaimingų atsitikimų darbe sumažėjimo. Taigi, saugios darbo praktikos ir darbuotojų mokymo svarba yra esminė formuojant prevencinį požiūrį į rizikas ir gerinant darbo aplinkos saugumą. Darbuotojų gebėjimas suvokti riziką bei tinkamai vertinti darbo sąlygas yra esminiai veiksniai, užtikrinantys saugią elgseną, kuri galiausiai lemia nelaimingų atsitikimų dažnį.

Tyrimo dizainas

Tyrimo tikslas yra išnagrinėti esminius darbo saugos ir rizikos valdymo aspektus, atsižvelgiant į darbuotojų žinių bei elgsenos, organizacinių iniciatyvų ir nelaimingų atsitikimų sąsajas. Tyrime dėmesys sutelkiamas į keturias pagrindines temas: darbuotojų žinias, elgseną bei rizikos toleranciją darbo vietoje, organizacijos saugaus elgesio politikas ir nelaimingų atsitikimų rodiklius. Adaptuotame tyrimo instrumentą sudaro penki teiginių blokai (žr. 1 lentelę).

1 lentelė

Nr.	Tyrimo dimensija (skalė)	Klausimų formulavimo šaltiniai	Klausimų skaičius
BENDRAS ANKETOS KLAUSIMŲ SKAIČIUS			51
1.1-1.8	DEMOGRAFINIAI KLAUSIMAI	Sudaryta autorių	8
2.1-2.4	TOLERANCIJA RIZIKAI	Sudaryta autorių pagal: Attitude toward risk (ATR) (Low ir kt., 2019)	4
3	SAUGUMAS DARBE	Sudaryta autorių pagal: Safety management commitment, safety resources, and safety communication (Lyu ir kt., 2018); Safety climate (Neal and Griffin, 2005); Safety climate (SC) (Low ir kt., 2019)	14
3.1.1-3.1.8	Organizacijos saugumo darbe politika	Sudaryta autorių pagal: Risk-taking behavior (RTB) (Low ir kt., 2019)	8
3.2.1-3.2.6	Darbuotojo saugumo darbe žinios		6
4.1-4.7	NESAUGUS DARBAS (Darbuotojo nesaugi elgsena praktikoje)	Sudaryta autorių pagal: Risk-taking behavior (RTB) (Low ir kt., 2019)	7
5.1-5.4	NELAIMINGI ATSTITIKIMAI	Sudaryta autorių	4

Šaltinis: sudaryta autorių

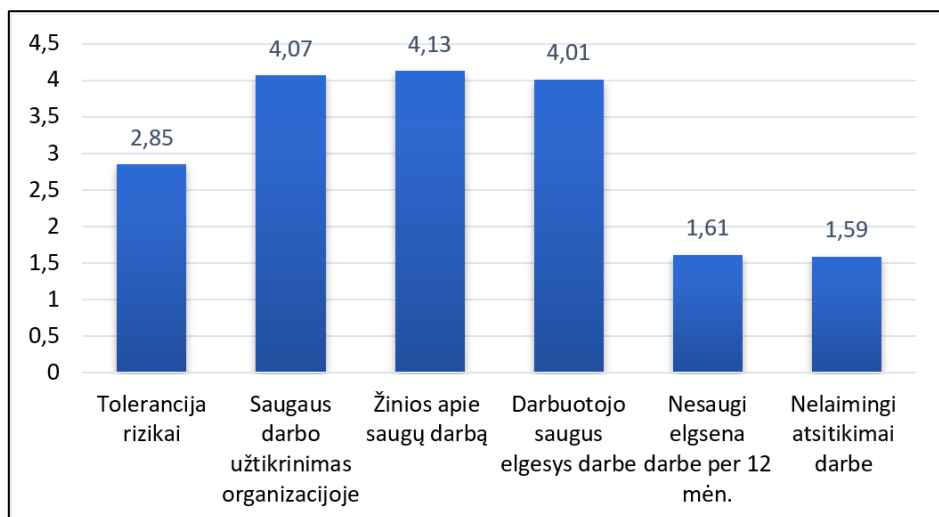
Visi klasifikaciniai klausimai turi iš anksto numatytus atsakymų variantus, kuriuos respondentas gali pasirinkti savo nuožiūra pagal tai, kuris iš jų geriausiai jį apibūdina. Diagnostiniai klausimai sudaryti Laikerto skalėje laikantis visų klausimų kokybės ir turinio verifikacijos rekomendacijų. Laikerto skalė pasirinkta dėl jos ranginės prigimties, kuri atskirais atvejais gali būti nesunkiai konvertuojama į intervalinę bei dėl jos paprastumo respondentui atsakinėjant į klausimus. Atskirai išmatuotos naudoto klausimyno kiekvieno konstrukto skalės demonstruoja aukštą homogeniškumą (Tolerancijos rizikai konstrukto skalės $\alpha=0,807$, Darbo pobūdžio ir sąlygų konstrukto skalės $\alpha=0,871$, Nelaimingų atsitikimų darbe $0,835$, Saugumo darbe konstrukto skalės $\alpha=0,879$ ir Nesaugaus elgesio konstrukto skalės $\alpha=,893$) t.y. tyrime naudotos skalės pasižymi vidiniu nuoseklumu ir suderintumu.

Apklausa buvo platinama online būdu, pasitelkiant socialinius tinklus. Duomenų rinkimas buvo vykdytas 2024 m lapkričio 1-20 dienomis. Viso buvo surinkta 200 atsakymų. Apklausos nebuvo galima baigti neatsakius į visus klausimus, taip norint išvengti pilnai neužpildytų anketų.

Tyrimo rezultatai

Didžiąją respondentų dalį sudaro vyrai (89,5%), kas atspindi vyrų dominavimą šios srities darbo rinkoje, ypač techniniuose ir inžineriniuose darbuose. Didžioji dalis respondentų yra tarp 35 ir 44 metų (30%). Kitos grupės apima 25-34 metų amžiaus respondentus (25,5%) bei 45-54 metų (26,8%). Respondentų išsilavinimo lygiai įvairūs – aukštasis universitetinis išsilavinimas (35,8%), profesinis išsilavinimas (28,2%), aukštasis neuniversitetinis išsilavinimas (22,9%), vidurinė mokykla (12,3%). 51,5% respondentų turi inžinerinį arba techninį išsilavinimą, kas yra svarbus faktorius analizuojant jų darbo saugos supratimą bei požiūrį į riziką. Vadovaujančias pareigas užima 21,9% apklaustųjų, o paklausti su kokiais pavojingais darbais susiduria dauguma dalyvių pažymėjo darbą triukšme (59,8%), krovinių kėlimą rankomis (48,5%) ir elektros darbus (48,0%).

2 paveikslėlyje pateikti pagrindinių tyrimo dimensijų skalių vidurkiai atspindintys pagrindinius darbo saugos aspektus ir jų sąsajas su nesaugiu elgesiu bei nelaimingais atsitikimais darbe.



2 pav. Darbuotojų atsakymų vidurkiai pagal saugaus darbo, rizikos ir nelaimingų atsitikimų klausimų blokus.

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagrindinių tyrimo dimensijų skalių blokų vidurkiai rodo, kad žinių apie saugų darbą klausimų demencija yra vertinama aukščiausiai (4,13). Taip pat aukštai įvertintos saugaus darbo užtikrinimo organizacijoje (4,07) ir darbuotojų saugus elgesio (4,01) klausimų dimensijos. Tai reiškia, kad įmonėse deklaruojama griežta saugos politika, o darbuotojai yra gerai informuoti ir laikosi saugaus darbo praktikų. Šie veiksniai stipriai prisideda prie santykinai žemo nesaugaus elgesio darbe (1,61) ir nelaimingų atsitikimų darbe (1,59) vidurkių. Nepaisant vidutinio tolerancijos rizikai vidurkio (2,85), kuris parodo, kad nors darbuotojai suvokia riziką, jie yra linkę ją ignoruoti, aukšta darbuotojų saugos kultūra, kartu su organizacijos pastangomis užtikrinti saugią darbo aplinką, kompensuoja šį tolerancijos rizikai aspektą. Aukštas saugumo užtikrinimo ir darbuotojų informuotumo lygis skatina prevencinį požiūrį į rizikas, todėl sumažėja nesaugių situacijų ir nelaimingų atsitikimų darbo vietoje tikimybė.

Nors nesaugios elgsenos per pastaruosius 12 mėnesių demencijos vidurkis yra žemiausias tarp visų dimensijų, šios dimensijos klausimų vidurkiai svyruoja labiausiai – nuo „Dirbdant 2 m ar didesniame aukštyje esu buvęs neprisigėjęs saugos diržu“ (1,28) iki „Esu dirbęs darbo sąlygose, neatitinkančiose darbų saugos reikalavimų“ (1,89). Toks didelis skirtumas rodo nevienodą darbuotojų elgseną ir požiūrį į saugos reikalavimų laikymąsi. Žinių apie saugų darbą demencijos vidurkis yra aukščiausias, tačiau šios demensijos klausimų vidurkiai stipriai varijuoja nuo „Aš žinau, kaip sumažinti nelaimingų atsitikimų ir incidentų riziką darbo vietoje“ (3,88) iki „Aš žinau, kaip saugiai atlikti savo darbą“ (4,26). Taip yra todėl, kad darbuotojai gali būti geriau susipažinę su specifiniais savo darbo saugos aspektais, tačiau jiems gali trūkti išsamių žinių apie bendras rizikos valdymo strategijas ar incidentų prevenciją, todėl žinių įvertinimai skirtinguose klausimuose svyruoja. Tolerancijos rizikai dimensijos vidurkis yra vidutinis, taip pat klausimų vidurkiuose pastebimas vidutinis svyravimas – nuo „Kai darbo ir materialiniai ištekliai jau sutelkti, darbą reikia atlikti, net jei yra galimos rizikos pavojus“ (2,68) iki „Kartais reikia rizikuoti, kad darbas būtų atliktas“ (2,99). Taip yra todėl, kad darbuotojai gali skirtingai vertinti situacijas, susijusias su rizika: kai kuriais atvejais jie gali jausti spaudimą atlikti darbą nepaisant rizikos, tačiau ne visada yra linkę pritarti bendrai rizikos priėmimo strategijai, todėl nuomonės dėl tolerancijos rizikai įvairiuose klausimuose skiriasi vidutiniškai. Nelaimingų atsitikimų dimensijos klausimų vidurkiai svyruoja nuo „Patekęs į sveikatai/gyvybei pavojingą situaciją darbe“ (1,45) iki „Sunerimęs dėl galimo nelaimingo atsitikimo“ (1,72). Saugaus darbo užtikrinimo organizacijoje dimensijos klausimų vidurkiai svyruoja nuo „Mano kolegos rūpinasi savo saugumu“ (3,91) iki „Įmonė aprūpina visomis reikiamomis darbo apsaugos priemonėmis“ (4,16).

2 lentelėje pateiktos koreliacijos.

2 lentelė

		Tolerancija rizikai	Saugaus darbo užtikrinimas organizacijoje	Žinios apie saugų darbą	Darbuotojo saugus elgesys darbe	Nesaugi elgsena darbe per 12 mėn.	Nelaimingi atsitikimai darbe
Tolerancija rizikai	P.C.	1	-,130**	-,133**	-,361**	,420**	,190**
	Sig.		,009	,008	,000	,000	,000
	N	200	200	200	200	200	200

		Tolerancija rizikai	Saugaus darbo užtikrinimas organizacijoje	Žinios apie saugų darbą	Darbuotojo saugus elgesys darbe	Nesaugi elgsena darbe per 12 mėn.	Nelaimingi atsitikimai darbe
Saugaus darbo užtikrinimas organizacijoje	P.C.	-,130**	1	,453**	,431**	-,387**	-,333**
	Sig.	,009		,000	,000	,000	,000
	N	200	200	200	200	200	200
Žinios apie saugų darbą	P.C.	-,133**	,453**	1	,400**	-,261**	-,142**
	Sig.	,008	,000		,000	,000	,004
	N	200	200	200	200	200	200
Darbuotojo saugus elgesys darbe	P.C.	-,361**	,431**	,400**	1	-,596**	-,290**
	Sig.	,000	,000	,000		,000	,000
	N		401	401	401	401	401
Nesaugi elgsena darbe per 12 mėn.	P.C.	,420**	-,387**	-,261**	-,596**	1	,407**
	Sig.	,000	,000	,000	,000		,000
	N	200	200	200	200	200	200
Nelaimingi atsitikimai darbe	P.C.	,190**	-,333**	-,142**	-,290**	,008	,407**
	Sig.	,000	,000	,004	,000	,871	,000
	N	200	200	200	200	200	200

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Šaltinis: sudaryta autorių

Koreliacijos rodo, kad saugaus darbo užtikrinimą organizacijoje ir turimas žinias apie saugų darbą sieja teigiama koreliacija ($r = ,453$, $p < 0,01$), t.y. didėjant darbo saugos reikalavimams didėja ir darbuotojų turimo žinios apie saugų darbą. Saugaus darbo užtikrinimą organizacijoje ir toleranciją rizikai darbo vietoje sieja neigiama koreliacija ($r = -,130$, $p < 0,01$), didėjant darbo saugos reikalavimams mažėja darbuotojų tolerancija rizikai. Saugaus darbo užtikrinimą organizacijoje ir darbuotojų saugų elgesį darbe sieja teigiama koreliacija ($r = ,431$, $p < 0,01$), o su nesaugiu elgesiu darbe sieja neigiama ($r = -,387$, $p < 0,01$), kas reiškia, kad didėjant darbo saugos reikalavimams didėja saugios darbuotojų elgsenos rodiklis, o nesaugaus darbo rodiklis mažėja. Toleranciją rizikai ir nesaugų elgesį darbe sieja teigiama koreliacija ($r = ,420$, $p < 0,01$), didėjant rizikos tolerancijai didėtų ir nesaugaus darbo rodiklis. Žinias apie saugų darbą darbo vietoje ir darbuotojų toleranciją rizikai sieja neigiama koreliacija ($r = -,133$, $p < 0,01$), didėjant darbuotojų žinioms kaip reikia saugiai dirbti mažėja tolerancija rizikai. Darbuotojų saugų elgesį darbe ir nelaimingus atsitikimus darbe sieja neigiama koreliacija ($r = -,290$, $p < 0,01$), didėjant darbuotojų saugiam elgesiui mažėja nelaimingų atsitikimų rodiklis. Darbuotojų nesaugų elgesį darbe ir nelaimingus atsitikimus darbe sieja teigiama koreliacija ($r = ,407$, $p < 0,01$), didėjant darbuotojų nesaugiam elgesiui didėja ir nelaimingų atsitikimų rodiklis.

Išvados

Mokslinės literatūros analizė suponavo prielaidą, kad darbuotojų tolerancija rizikai, saugumo kultūros formavimas organizacijose ir tinkamų saugos elgesio politikų taikymas turi tiesioginį poveikį nelaimingų atsitikimų darbe skaičiui. Rizikos tolerancija lemia didesnę nesaugaus elgesio darbo vietoje lygį, o organizacijos sugebėjimas ugdyti darbuotojų saugią elgseną reikšmingai prisideda prie nelaimingų atsitikimų prevencijos.

Tyrimo rezultatai atskleidžia, kad įmonėse deklaruojama griežta saugos politika, darbuotojai yra gerai informuoti ir laikosi saugaus darbo praktikų, kas prisideda prie žemo nesaugaus elgesio ir nelaimingų atsitikimų dažnio. Nors darbuotojų tolerancija rizikai išlieka vidutinė, organizacijos pastangos užtikrinti saugų darbo aplinką bei aukštas darbuotojų žinių apie saugų darbą lygis padeda kompensuoti šį aspektą ir skatina prevencinį požiūrį į riziką. Tarpdimensinės koreliacijos rodo, kad didėjant darbo saugos reikalavimams ir darbuotojų žinioms apie saugų darbą, mažėja tolerancija rizikai ir nesaugių situacijų bei nelaimingų atsitikimų tikimybė. Saugumo kultūros stiprinimas organizacijoje turi esminę reikšmę darbuotojų saugiam elgesiui ir rizikos valdymui darbo vietose.

Tiek teorinė literatūra, tiek empiriniai duomenys patvirtina, kad tolerancija rizikai yra susijusi su nesaugiu elgesiu darbo vietoje. Teoriniai tyrimai pabrėžia darbo saugos kultūros svarbą, o atliktos apklausos rezultatai rodo, kad darbuotojai, suvokiantys saugos reikalavimų svarbą, demonstruoja saugesnį elgesį. Tačiau

tyrimas atskleidė, kad net ir turint gerą saugumo supratimą bei įmonėms skiriant dėmesį apsaugos priemonėms, dalis darbuotojų vis dar linkę rizikuoti, kas neatitinka kai kurių teorinių prielaidų.

Literatūra

1. Clarke, S. (2006). The relationship between safety climate and safety performance: A meta-analytic review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 11(4), 315–327.
2. Griffin, M.A.; Neal, A. (2000). Perceptions of safety at work: A framework for linking safety climate to safety performance, knowledge, and motivation. *J. Occup. Health Psychol.* 5, 347–358.
3. Grzywacz, J. G., Segel-Karpas, D., & Lachman, M. E. (2016). Workplace Exposures and Cognitive Function During Adulthood: Evidence From National Survey of Midlife Development and the O*NET. *Journal of occupational and environmental medicine*. 58(6), 535–541.
4. Hämmäläinen, P., Takala, J., & Saarela, K. L. (2009). Global estimates of occupational accidents and work-related illnesses 2017. *Safety Science*, 47(6), 738–741.
5. ILO (2011). https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_150440.pdf
6. ILO (2020). <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--de/index.htm>.
7. ISSA (International Social Security Association). 2014. “Towards a Global Culture of Prevention: Working Conditions Have a Major and Direct Impact on the Health and Well-Being of Workers.” ISSA, Geneva. <http://www.issa.int/topics/occupational-risks/introduction>
8. Jung, M., Lim, S., & Chi, S. (2020). Impact of work environment and occupational stress on safety behavior of individual construction workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7608.
9. Jung, M., Lim, S., Chi, S. (2020). Impact of Work Environment and Occupational Stress on Safety Behavior of Individual Construction Workers. *Int J Environ Res Public Health*. 17(22):8304.
10. Low, B.K.L, Man, S.S, Chan, A.H.S., Alabdulkarim, S. (2019). Construction Worker Risk-Taking Behavior Model with Individual and Organizational Factors. *Int J Environ Res Public Health*. 16(8):1335.
11. Luger T.M. (2013). Health Beliefs/Health Belief Model. In: Gellman M.D., Turner J.R. (eds) *Encyclopedia of Behavioral Medicine*. Springer, New York, NY
12. Neal, A, Griffin, M.A. (2006). A study of the lagged relationships among safety climate, safety motivation, safety behavior, and accidents at the individual and group levels. *J Appl Psychol*. 1(4): 946-53.
13. Neal, A.; Griffin, M.A. Safety climate and safety behaviour. *Aust. J. Manag.* 2002, 27, 67–75.

LINKAGE BETWEEN WORK SAFETY, WORKING CONDITIONS, RISK TOLERANCE, AND WORKPLACE ACCIDENTS

Summary

The article investigates the relationship between attitudes towards risk, workplace safety, and occupational accidents. Based on empirical data from a survey analysis, it evaluates how employee behavior, safety knowledge, compliance with workplace safety regulations, and attitudes toward risk correlate with the frequency of workplace accidents.

ISSN 2783-6223 (leidinio forma: Elektroninis)

Mokslinės konferencijos
„PRAMONĖS IR VERSLO SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI”
recenzuotų straipsnių rinkinys

Išleido Lietuvos inžinerijos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas
www.lik.tech,
el.p. info@lik.tech