



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriteris vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Laurynas Vilėniškis

Projekto autorius

Doc. dr. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Panevėžys, 2020



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriteris vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Statybos valdymas (6211EX007)

Laurynas Vilėniškis

Projekto autorius

Doc. dr. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2020



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Laurynas Vilėniškis

Kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriteris vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Lauryno Vilėniškio, baigiamasis projektas tema „Kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriteris vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Magistrantui **Laurynui Vilėniškiui**

Baigiamojo projekto tema lietuvių kalba

KELIO STATINIŲ ĮRENGIMO BEI EKSPLOATACIJOS DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Baigiamojo projekto tema anglų kalba

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF ROAD STRUCTURE INSTALLATION AND OPERATION

Patvirtinta 2019 m. lapkričio 8 d. dekanu potvarkiu Nr.V25-13-25.

Įrišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2020 m. sausio 7 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tirti tiltų perdangas. Tyrime panaudoti mažiausiai tris skirtingų tipų perdangas. Daugiakriterį vertinimą atlikti SAW metodu, panaudojus mažiausiai penkis vertinimo kriterijus.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai / klausimai, kurie turi būti atskleisti projekte

Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio autorių literatūrą baigiamojo projekto tematika. Ištirti skirtingų perdangų atsparumą. Gautus duomenis panaudoti daugiakriteriniame vertinime, nustatant racionaliausių perdangos tipą.

Vadovas / Vadovė: dr. Dainius Vaičiulis
(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau: Laurynas Vilėniškis
(studento vardas, pavardė, parašas)

2019 m. lapkričio 18 d.

Vilėniškis Laurynas. Kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriteris vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): statybos inžinerija, technologijos mokslai (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: perdanga, sijinė perdanga, kompozitinė perdanga, plokštinė perdanga, daugiakriteris vertinimas, SAW.

Panevėžys, 2020. 60 p.

Santrauka

Kelio statiniai, tai sudėtingi, brangūs ir padidintos avarijų rizikos inžineriniai statiniai, svarbūs kiekvienos šalies ekonominiams, politiniams ir kultūriniais veiksniams. Šių statinių svarba yra įtvirtinta Lietuvos transporto plėtros strategijoje. Dėl šių ir kitų priežasčių svarbu, kad naujai statomi kelio statiniai būtų ekonomiškai naudingi, saugūs, kokybiškai įrengti ir prižiūrimi.

Magistro baigiamajame darbe buvo pasirinkta nagrinėti vieną rūšį kelio statinių – tiltus.

Tiriamaisiais objektais buvo pasirinkti trijų skirtingų konstrukcijų tiltai, kurie yra realiai pastatyti tame pačiame Lietuvos regione. Jų pagrindiniai rodikliai – labai panašūs, tačiau skiriasi perdangų tipai. Du tiltai yra pastatyti Lietuvos teritorijoje – tiltai, turintys sijinę ir kompozicinę perdangas, o vienas Lietuvos – Latvijos pasienyje – tiltas su plokštine perdanga yra pastatytas per Lauceses upę.

Pirmojoje darbo dalyje, remiantis Lietuvos ir užsienio autorių moksline literatūra, statybos techniniais dokumentais, taip pat darbo autoriaus patirtimi tiltų statybos srityje, kiekvienas perdangos tipas yra aprašomas, atskleidžiant kiekvieno tipo privalumus ir trūkumus. Taip pat aptariami dažniausiai pasitaikantys tilto defektai ir juos sukeliančios priežastys. Taip pat skiriamas dėmesys tiltų eksploatacijos sistemai Lietuvoje.

Antrojoje dalyje atliktas tiltų perdangų kompiuterinis modeliavimas, siekiant iširti, kuris tiriamųjų perdangų tipas yra racionaliausias. Visi trys tiltai buvo sumodeliuoti kompiuterine erdvinio modeliavimo programa „SOLIDWORKS“. Pasinaudojus programos „SOLIDWORKS“ priedu „SOLIDWORKS Simulation“ atlikta statinio atsparumo skaičiavimai, panaudojant baigtinių elementų metodą.

Kadangi statyboje yra svarbus ekonominis aspektas, buvo naudotas konstrukcijų montavimo ekonominio palyginimo metodas. Tam tikslui pasitelkiant sąmatų sudarymo programinę duomenų bazę „SES3“ (Statybų ekonominiai skaičiavimai) buvo sudaryta plokštinės, kompozitinės ir sijinės perdangos montavimo sąmatinė dokumentacija. Pagal jos duomenis nustatyta, kuris perdangos tipas yra ekonomiškai naudingiausias.

Paskutinėje darbo dalyje yra atliekami trys daugiakriteriniai vertinimai. Iš ankstesniuose skyriuose surinktų ir apdorotų duomenų, naudojant SAW metodą, skirtingų tipų tiltų perdangų palyginimas atliekamas pagal mechanines ir ekonomines savybes. Visiems trimis vertinimams naudojami tie patys septyni palyginamieji rodikliai – įrengimo kaina, darbo sąnaudos, įrengimo sąnaudos, skaičiuojamasis konstrukcijos atsargos koeficientas, atramų skaičius ir eksploatacijos sudėtingumas.

Pirmajame tyrime atliekamas tyrimas su visais septyniais palyginamaisiais rodikliais, suteikiant jiems vienodus reikšmingumo koeficientus. Antrajame tyrime – vieno palyginamojo rodiklio reikšmės visiems perdangų tipams yra suvienodinamos. Trečiame tyrime atliekamas tyrimas, iškelus prielaidą, kad vieno iš rodiklių reikšmingumo koeficientui suteikus didesnes reikšmes nei kitiems reikšmingumo koeficientams, tai pakeistų ankstesniuose dviejuose vertinimuose gautų prioritetų eilučių tvarką.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad nepaisant panaudotų vertinimo rodiklių reikšmingumų lygio (įrengimo kainos rodikliui reikšmingumas buvo keičiamas nuo 1 iki 3 kartų, o darbo sąnaudų, įrengimų sąnaudų, atsargos koeficiento, atramų skaičiaus ir eksploatacijos sudėtingumo reikšmingumus atitinkamai sumažinant) racionaliausia yra sijinė perdanga.

Darbo apimtis – 60 puslapių, 36 paveikslėliai, 16 lentelių, 5 formulės, 35 literatūros šaltiniai.

Vilėniškis Laurynas. Multi-criteria evaluation of Road structure installation and operation. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Dainius Vaičiulis; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Civil Engineering, Technology Sciences (Engineering Sciences).

Keywords: deck, beam deck, filler beam deck, slab frame bridge, multi-criteria evaluation, SAW.

Panevėžys, 2020. 60 pages.

Summary

Road structures are complex, expensive and high risk accident engineering structures that are important to each country's economic, political and cultural factors. The importance of these structures is enshrined in the Lithuanian Transport Development Strategy. For these and other reasons, it is important that newly constructed road structures are cost-effective, safe, of good quality, and maintained.

In the master's thesis one type of road structures - bridges - was chosen to be analyzed.

Three different bridges of actual construction in the same region of Lithuania were selected as the research objects. Their main characteristics are very similar, but with different types of overlays. Two bridges are built on the territory of Lithuania - bridges with beam and composite overlays, and one bridge on Lithuanian-Latvian border with flat slab is built over the Lauceses River.

In the first part, based on the scientific literature of Lithuanian and foreign authors, technical documents of construction, as well as the author's experience in the field of bridge construction, each type of overlay is described, revealing the advantages and disadvantages of each type. The most common bridge defects and their causes are also discussed. Attention is also paid to the bridge operation system in Lithuania.

In the second part, computer modeling of bridge overlays is performed to investigate which type of overlay is the most rational. All three bridges were modeled by the computer-based SOLIDWORKS spatial modeling software. Static resistance calculations were performed using the finite element method using SOLIDWORKS Simulation, an add-on to SOLIDWORKS.

Because of the important economic aspect of construction, the method of economic comparison of fitting structures was used. To this end, the SES3 (Economic Cost of Construction Calculations) database was used to compile estimates for the installation of slab, composite and beam ceilings. According to her data, a comparison was made which type of overlay is most cost effective.

In the final part of the work three multi-criteria evaluations are performed. From the data collected and processed in the previous chapters, the comparison of different types of bridge overlays using the SAW method is made in terms of mechanical and economic properties. The same seven benchmarks are used for all three estimates - installation cost, labor cost, installation cost, design safety factor, number of supports and operational complexity. The first study carries out a study with all seven comparators, giving them equal significance coefficients. In the second study, the values of one benchmark for all types of overlays are equalized. The third study carries out a study assuming that

the significance coefficients of one of the indicators give higher values than the other significance coefficients, which would change the order of the priorities obtained in the previous two evaluations.

The study found that regardless of the level of significance of the valuation indicators used (for the cost of installation, significance was changed from 1 to 3 times, reducing the significance of labor costs, equipment costs, margin, number of supports and operating complexity respectively).

The thesis size: 60 pages, 36 pictures, 16 tables, 5 formulas, 35 literature sources.

Turinys

Turinys	9
Paveikslėlių sąrašas.....	10
Lentelių sąrašas.....	11
Įvadas	12
1. Literatūros apžvalga	14
1.1 Kelio statinių samprata, tiltų tipai ir klasifikacija	14
1.2 Tiltų naudojimo sąlygos	15
1.3 Sijinės, kompozicinės ir plokštinės perdangų aspektai	16
1.3.1 Sijinės tilto perdangos savybės	16
1.3.2 Plokštinės tilto perdangos savybės.....	18
1.3.3 Kompozicinės tilto perdangos savybės	19
1.4 Kelio statinių defektai ir jų priežastys	21
1.5 Kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos vertinimas	24
2. Perdangos tipų konstrukcinė ir ekonominė analizė	28
2.1 Apkrovų poveikiai perdangoms	28
2.2 Tilto perdangų konstrukcijų ekonominis palyginimas	34
3. Daugiakriteris vertinimas	37
3.1 Daugiakriterio vertinimo metodai ir modeliai	37
3.2 Daugiakriteriai vertinimo metodai	37
3.3 Daugiakriteris skaičiavimas SAW metodu.....	38
Išvados	48
Literatūros sąrašas.....	49
Informacijos šaltinių sąrašas	51
1 priedas. ŠaMATiniai skaičiavimai.....	52
2 priedas. Apklausos anketa	55
3 priedas. Mokslinis straipsnis.....	56

Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Tiltų skaičius pagal perdangos medžiagą.....	14
2 pav. Tiltas su sijine perdanga.....	16
3 pav. Perdangos sija.....	17
4 pav. Nesandariaus deformacinio pjūvio pasėkmė – suardytos žemiau jo esančios konstrukcijos...	18
5 pav. Pasiruošimas ištisiniam tilto perdangos betonavimui.....	18
6 pav. Tiltas su plokštine perdanga.....	19
7 pav. Kompozitinės perdangos įrengimas.....	20
8 pav. Tiltas su kompozitine perdanga.....	20
9 pav. Tiltų skaičius Lietuvoje pagal statybos metų grupes.....	22
10 pav. Tilto sijos bandymo apkrovų išdėstymo schema.....	23
11 pav. Supleišėjusi gelžbetoninė tilto sija.....	24
12 pav. Tiltų naudojimo valdymo schema.....	25
13 pav. Tilto esminės apžiūros ataskaitos ištrauka.....	27
14 pav. Sijinės perdangos modelis.....	28
15 pav. Plokštinės perdangos modelis.....	28
16 pav. Kompozitinės perdangos plokštės modelis su detalizuotu HEB sijos ir tuštumų vaizdu.....	28
17 pav. Sijinės perdangos skaičiuojamoji atramų schema.....	29
18 pav. Plokštinės perdangos skaičiuojamoji atramų schema.....	29
19 pav. Kompozitinės perdangos atramų schema žiūrint iš apačios.....	29
20 pav. Automobilių kelių tiltų pagrindinis apkrovų modelis ir apkrovų juostų išdėstymas, atliekant skaičiavimus.....	30
21 pav. Plokštinėje perdangoje veikiantys įtempiai.....	31
22 pav. Sijinėje perdangoje veikiantys įtempiai.....	32
23 pav. Kompozitinėje perdangoje veikiantys įtempiai.....	32
24 pav. Plokštinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai.....	32
25 pav. Sijinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai.....	33
26 pav. Kompozitinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai.....	33
27 pav. Statybos kainos išlaidų sudėtis.....	34
28 pav. Skaičiuojamosios kainos nustatymo pagrindai.....	35
29 pav. Konstrukcijų kainos palyginimas.....	35
30 pav. Konstrukcijų kainos sudedamųjų dalių palyginimas.....	36
31 pav. Tilto perdangų darbo ir mechanizmų sąnaudų palyginimas, val.....	36
32 pav. Normalizuotos matricos reikšmės, kai vertinami visi palyginamieji parametrai.....	41
33 pav. Pirmojo daugiakriterio vertinimo rodiklių vertės procentine išraiška.....	42
34 pav. Normalizuotos matricos reikšmės, kai eksploatacijos sudėtingumo parametro reikšmė suvienodinama visiems variantams.....	43
35 pav. Antrojo daugiakriterio vertinimo rodiklių vertės procentine išraiška.....	44
36 pav. Perdangų racionalumo kitimas, keičiantis rodiklių reikšmingumo koeficientui.....	46

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Apkrovų dydžiai.....	31
2 lentelė. Perdangų įrašos ir įlinkiai.....	33
3 lentelė. Daugiakriterių sprendimų metodų SAW ir TOPSIS palyginimas	38
4 lentelė. Specialistų apklausos duomenys.....	39
5 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica	40
6 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica.....	40
7 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo reikšmių matrica.....	41
8 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica.....	42
9 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica.....	43
10 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo reikšmių matrica.....	43
11 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica.....	44
12 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica.....	45
13 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,231) yra 1,5 karto didesnė už likusių rodiklių vertes.....	45
14 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,286) yra 2 kartus didesnė už likusių rodiklių vertes.....	45
15 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,333) yra 2,5 karto didesnė už likusių rodiklių vertes.....	46
16 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,375) yra 3 kartus didesnė už likusių rodiklių vertes.....	46

Ivadas

Tiltai nuo senų laikų yra vieni svarbiausių infrastruktūros objektų, padedantys sausumos keliais vykstantiems žmonėms įveikti vandens (ar sausumos) kliūtis. Skaičiuojama, kad Lietuvoje yra apie 4000 tiltų. Visi jie yra pastatyti labai skirtingu metu, turi skirtingus savininkus. 1506 tiltus prižiūri Lietuvos automobilių kelių direkcija, 523 prižiūri „Lietuvos geležinkeliai“, likusius (apie 2000) – miestų ir rajonų savivaldybės. Daugiausiai tiltų Lietuvoje buvo statoma XX a. 6-ajame ir 7-ajame dešimtmėčiuose [2.a]. Tuo metu statytų tiltų skaičiuojamoji tarnavimo trukmė buvo 100 metų, tačiau dėl išaugusių transporto apkrovų ir srauto, šis laikotarpis yra žymiai trumpesnis. Todėl per praėjusį 10-metį buvo rekonstruota labai daug tuo metu pastatytų tiltų [2.a].

Lietuvos transporto plėtros strategijoje yra įtvirtinta siekiama, kad Lietuvos magistralės ir transporto mazgai būtų Europinio tinklo lygiaverte dalimi, to siekiant modernizuojant automobilių ir geležinkelių kelius. Šio tikslo įgyvendinimui būtina gerinti esamų bei naujai statomų transporto statinių techninį lygį [14]. Siekiant išvengti avaringos kelio ir kelių statinių būklės, reikalingas nuolatinis kelių ir kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos vertinimas, padėsiantis pasirinkti teisingus sprendinius projektavimo, statybos ar eksploatacijos metu.

Baigiamojo magistro projekte gautus rezultatus statybos specialistai galėtų pritaikyti dirbdami kelio statinių įrengimo srityje. Taip pat gauti duomenys gali būti naudingi tobulinant kelio statinių įrengimo technologijas, jų projektavimą bei tobulinant eksploatacijų tvarką. Baigiamojo magistro projekto teorinis reikšmingumas, gali būti vertingas ir reikšmingas kitiems tyrėjams, kurie pasinaudodami šio baigiamojo darbo tyrimo rezultatais, tirs temą ateityje, gilinantį į problematiką tais pačiais ar kitais aspektais.

Darbo tikslas: atlikti kelio statinių įrengimo ir eksploatacijos daugiakriterį vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio autorių mokslinę literatūrą baigiamojo projekto tematika.
2. Iširti skirtingų perdangų atsparumą;
3. Gautus duomenis panaudoti daugiakriteriniame vertinime, nustatant racionaliausią perdangos tipą.

Darbo metodai: kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos daugiakriteriniam vertinimui buvo pasitelkti šie metodai:

1. Mokslinės literatūros analizė – naudota analizuojant Lietuvos ir užsienio autorių mokslinę literatūrą, mokslinius straipsnius, mokslo leidinius bei kitus mokslinius šaltinius, susijusius su tiriamo objekto visapusiškos analizės atlikimu. Taip pat dokumentų (statybos taisyklių) analizės metodas – naudotas analizuojant dokumentus susijusius su tiriamuoju objektu: trijų skirtingų konstrukcijų tiltų, pastatytų viename Lietuvos regione, analizė. Dviejų tiltų perdangų tipai pastatyti Lietuvoje – sijinė ir kompozitinė, Lietuvos–Latvijos pasienyje – tiltas su plokštine perdanga.
2. Skaitinis modeliavimas – siekiant iširti, kuris tiriamųjų perdangų tipas yra racionaliausias, pasirinkti tiltai sumodeliuoti kompiuterine erdvinio modeliavimo programa „SOLIDWORKS“.

Pasinaudojus programos „SOLIDWORKS“ priedu „SOLIDWORKS Simulation“ atlikta statinio atsparumo skaičiavimai, panaudojant baigtinių elementų metodą.

3. Skaitinis modeliavimas konstrukcijų montavimo ekonominio palyginimo metodas. Tam tikslui pasitelkiant sąmatų sudarymo programinę duomenų bazę SES3 (Statybų ekonominiai skaičiavimai) buvo sudaryta plokštinės, kompozitinės ir sijinės perdangos montavimo sąmatinė dokumentacija.

4. Tiltų perdangos konstrukcijų daugiakriterė analizė pasitelkiant SAW metodą.

Autoriaus publikuotų straipsnių bibliografinis sąrašas:

Vilėniškis, Laurynas. Skirtingų konstrukcijų tiltų perdangų analizė // Technologijų ir verslo aktualijos – 2019: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2019 balandžio 19 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. Straipsnis pridedamas prieduose.

Konferencijose skaityti pranešimai:

Pranešimas tema „Kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos daugiakriterinis vertinimas“ 19-oje tarptautinėje studentų mokslo darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2019“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, 2019 m. balandžio 19 d.

Projekto apimtis ir struktūra. Magistro baigiamąjį projektą sudaro santraukos lietuvių bei anglų kalbomis, įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Darbo apimtis 60 p., kuriuose yra 16 lentelių ir 36 iliustracijų.

1. Literatūros apžvalga

1.1 Kelio statinių samprata, tiltų tipai ir klasifikacija

Kelio statiniai, tai sudėtingi, brangūs ir padidintos avarijų rizikos inžineriniai statiniai, svarbūs kiekvienos šalies ekonominiams, politiniams ir kultūriniais veiksniams.

Kelio statinys – kelio elementas, turintis laikančiąsias konstrukcijas: tiltas, viadukas, estakada, tunelis, pralaida, triukšmo užtvara, atraminė sienelė, pylimas [8].

Ypatingųjų kelio statinių kategorijai priskiriami kelio statiniai, t. y. tiltai, viadukai, estakados, tuneliai, požeminės ir virš žemės esančios pėsčiųjų perėjės, tai [9]:

- 1) Statiniai kurių konstrukcijos nuo žemės (vandens) paviršiaus konstrukcijų įrengimo vietose įgilintos daugiau kaip 7 m;
- 2) Statiniai, kurių laikančiosios konstrukcijos tarp atramų (angos) ilgesnės kaip 12 m;
- 3) Statiniai ypatingiems statiniams priskiriamuose keliuose 20 m ir aukštesni.

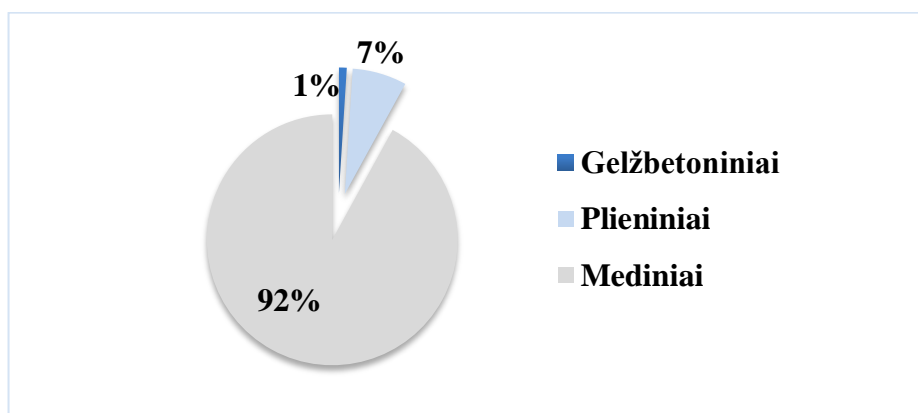
Tiltai ir viadukai yra vieni svarbiausių ir sudėtingiausių inžinerinių statinių, sudarančių kiekvienos šalies nacionalinio turto dalį [13].

Tiltas – tai kelio statinys, naudojamas pratiesti keliui arba specifinės paskirties statiniui virš natūralios arba dirbtinės kliūtis [1].

Lietuvoje yra maždaug 4 tūkst. tiltų iš kurių 92 proc. pagaminti iš gelžbetonio, 7 proc. – plieno ir mažiau nei 1 proc. – medžio [14] (žr. 1 pav.). Didžioji dalis tiltų eksploatuojami Lietuvos automobilių kelių direkcijos. Lietuvos automobilių kelių direkcijai priskirti 1447 tiltai, iš jų 1364 tiltai turi gelžbetonines perdangas, 80 tiltų turi plienines perdangas ir tik 3 tiltai turi medines perdangas [21].

Tiltų statybai naudojamos įvairios konstrukcijų medžiagos: medis, gelžbetonis, plienas, aliuminis, kompozitai [22].

Iš minėtų medžiagų įrengtų tiltų konstrukciniai reikalavimai pateikti statybos taisyklėse ST 8871063.05:2003.



1 pav. Tiltų skaičius pagal perdangos medžiagą [14]

Tiltai ir viadukai skirstomi pagal savo elgseną ir skaičiuojamąją schemą, tai sijiniai, santvariniai, rėminiai tiltai, arkiniai tiltai, kabamieji tiltai, vantiniai tiltai, kombinuotieji – mišrieji tiltai [2].

Kiekvienam kelio statinio tipui būdingos savitos konstrukcijos, naudojimo ypatybės ir kitos ypatingos jautrios statinio vietos. Tiltą sudaro perdanga, kraštinės (tarpinės) atramos, pamatas, šalitiltis, atraminiai guoliai [7]. Tiltai klasifikuojami pagal paskirtis, naudojamas statybines medžiagas, pagal reikšmingumą bei elgsenos statistinę schemą [13 244p.].

Tiltų klasifikacija pagal paskirtį: automobilio kelio tiltas, geležinkelio tiltas, mišraus eismo tiltas, pėsčiųjų tiltas, viadukas [13 244p.].

Tiltų klasifikacija pagal reikšmingumą (pagal dydį Lietuvoje) [13 244p.]:

- 1) Maži tiltai – ilgis iki 25 metrų;
- 2) Vidutiniai tiltai – ilgis 25 – 100 metrų;
- 3) Didelis tiltai – ilgis 100 – 10000 metrų;
- 4) Unikalūs tiltai – tiltai unikalūs įvairiais aspektais, pvz.: ilgis 1 km.

1.2 Tiltų naudojimo sąlygos

Kelio statinius veikia įvairios gamtos sąlygos ir technologiniai veiksniai. Kelio statinių apkrovos ir poveikiai tai atsitiktiniai dydžiais, pasižymintys statistiniu išsibarstymu. Tiltus dažniausiai veikia ne viena apkrova ar veiksnys, taip pat gali veikti ir agresyvi aplinka, ardanti medžiagų struktūrą, ko pasekoje kinta medžiagų savybės ir sumažėja jų stiprumas. Tiltus veikiantys veiksniai: transporto ar pėsčiųjų srauto sąlygotos apkrovos, vėjas, lietus, sniegas, kintanti temperatūra, agresyvios dujos, rūgštus lietus, druskos, radiacija, grunto slėgis, gruntinis vanduo, agresyvus gruntas, agresyvus vanduo, klajojančios srovės, mikroorganizmai [3].

Kelio statinių konstrukcijų gamyboje, sandėliavime, transportavime, montavime ir naudojime atsiranda įvairios apkrovos: laikinos trumpalaikės apkrovos, laikinos ilgalaikės apkrovos bei ypatingos apkrovos [7].

Statinių konstrukcijas taip pat veikia tokie oro ir aplinkos veiksniai kaip saulės radiacija – ultravioletiniai spinduliai, įvairios dujos – deguonis, anglies azotas. Agresyvi aplinka, veikianti tilto konstrukcijas, skirstoma į silpną, vidutinį ir stiprų agresyvumą [23].

Agresyvi skysta aplinka skirstoma į [15]:

- 1) Atmosferinė – krituliai (natrio chloridas, pelenai, dulkės), minkštas lietus (siera, azotas, anglis).
- 2) Gruntinė - paviršinė – ežerai, upės, jūra.
- 3) Pramoninė – nutekamasis vanduo (natrio chloridas, karbonatai, organinės medžiagos, rūgštys, šarmai, druskos).

Agresyvi kieta aplinka skirstoma į [15]:

- 1) Gruntai – neagresyvūs (švarus smėlis, žvyras), chemiškai aktyvūs (durpės, dumblas, drėgni gruntai su organinėmis priemaišomis, tirpdami vandenyje sudaro rūgštis).
- 2) Aktyvios priemaišos – druska (chloridai, sulfatai, karbonatai, tirpdami vandenyje užteršia gruntą).
- 3) Pelenai, dulkės.

Visi šie išvardinti oro ir aplinkos veiksniai bei agresyvi aplinka kelio statinių konstrukcijas gali veikti kompleksiskai.

1.3 Sijinės, kompozicinės ir plokštinės perdangų aspektai

Tilto perdanga – tai konstrukcija, dengianti erdvę tarp atramų ir perduodanti toms atramoms visas tilto apkrovas. Tilto perdangą sudaro laikančiosios konstrukcijos ir paklotas su važiuojamąja dalimi bei šalitilčiais. Laikančiosios konstrukcijos tai sijos, santvaros, arkos, rėmai [12].

Minėtos laikančiosios konstrukcijos lemia tilto pavadinimą, pvz.: sijinis, arkinis, rėminis, kabamasis tiltas. Yra tiltų ir su mišriomis perdangomis, pvz., rėminis sijinis, arkinis sijinis.

Baigiamojo magistro projekte aptarsime trijų skirtingų konstrukcijų tiltus, kurie pastatyti viename Lietuvos regione. Pagrindiniai tiltų rodikliai labai panašūs, tačiau skiriasi perdangų tipai. Sijinės ir kompozitinės perdangų tiltai pastatyti Lietuvoje, tiltas su plokštine perdanga pastatytas Lietuvos – Latvijos pasienyje.

1.3.1 Sijinės tilto perdangos savybės

Sijinėmis vadinamos perdangos (2 pav.), kurių konstrukcijos pagrindinis elementas skaičiuojamas kaip sija. Dažniausiai naudojamos sijinės karpytos dviatramės arba daugiaatramės, sijinės nekarpytos ir sijinės šarnyrinės perdangos [35].

Pagrindinės tilto dalys – atramos ir sijos, dengiančios atstumus tarp atramų. Sijos kartu su paklotu ir šalitilčiais sudaro nuolatinę apkrovą. Skaičiavimuose vertinama, kad tokia apkrova pasiskirsčiusi daugmaž tolygiai. Daug sudėtingesnis skaičiavimas, vertinant laikinąją paslankiąją apkrovą. Įvertinus sijos skersinį standumą yra skaičiuojamos atskiroms sijoms tenkanti laikinosios apkrovos dalis [35].



2 pav. Tiltas su sijine perdanga

Sijinės perdangos dažniausiai surenkamos iš jau pagamintų ir į objektą atvežtų sijų, tarpus tarp jų užbetuojant objekte. Sijų gamyba reikalauja daugiausiai resursų - medžiagų, darbo sąnaudų, gabenimo ir montavimo išlaidų, tačiau toks perdangos tipas yra laikomas pigiausiu. Kadangi sijos yra gaminamos specializuotose gamyklose, jų kokybė yra labai gera ir tai užtikrina paprastesnę ir pigesnę tokių tiltų eksploataciją. Tokia perdanga nėra jautri atramų sėdimui bei temperatūrinėms deformacijoms, tačiau lyginant su rėminėmis perdangomis, esant tokioms pačioms apkrovoms, sijinėse perdangose atsiranda daug didesnės įrašos [13].

Sijinėms dviatramėms perdangoms yra taikomi tokie rekomenduojami sijų ilgiai: automobilių kelių tiltams $\leq 15\text{m}$; įtempto gelžbetonio perdangoms $\leq 35\text{m}$; metalinėms perdangoms $\leq 50\text{m}$ [13].



3 pav. Perdangos sija

Labiausiai paplitusios Lietuvoje sijinės karpytosios surenkamos perdangos. Tokių perdangų privalumai yra nesudėtingas projektavimas (gali būti statomos pagal tipinius projektus), greita statyba, ilga eksploatacija[35].

Dažniausi sijinių tiltų defektai, tai vandenį praleidžiantis deformacinis pjūvis bei senos statybos tiltų mažas betono apsauginis sluoksnis.

Sijinio tilto deformacinio pjūvio konstrukcija dėl pažeidimų, didelės dinaminės apkrovos dažniausiai praleidžia vandenį, purvą ant perdangos, atraminių guolių ir atramų, kas įtakoja važiuojančių automobilių smūgius, triukšmą, sudaro nesaugias eismo sąlygas, prastina automobilių techninę būklę, sukelia žemiau esančių konstrukcijų drėkinimą ir ardymą [29].

Kadangi tokios perdangos pagrindines sijas visame jų ilgyje veikia sijų apačią tempiantys lenkimo momentai, dabartiniu laikotarpiu pasitaiko atveju, kad eksploatuojant tiltą su tokia perdanga, dėl išaugusių transporto srautų ir apkrovų bei senų projektavimo normų, konstrukcija pradeda nebetenkinti saugos arba ribinio būvio reikalavimų. Dėl sijose atsiradusių per didelių plyšių (4 pav.) arba per didelio perdangos įlinkio, turi būti nedelsiant priimami sprendimai dėl tokios perdangos tolesnio eksploatavimo, remonto ar rekonstrukcijos.



4 pav. Nesandariaus deformacinio pjūvio pasėkmė – suardytos žemiau jo esančios konstrukcijos

1.3.2 Plokštinės tilto perdangos savybės

Latvijoje ir Skandinavijos šalyse labai plačiai naudojami plokštinių perdangų tiltai (angl. *Slab Frame Bridge*). Šie tiltai gali būti statomi vienpakopiai, daugiapakopiai, su atviromis pamatų plokštėmis bei su uždaromis pamatų plokštėmis [24].

Šių plokštinių tiltų perdangų privalumai yra paprastas projektavimas, greita statyba, paprasti sujungimo mazgai, nereikalingos deformacinės siūlės, lengva priežiūra [25] (žr. 6 pav.).



5 pav. Pasiruošimas ištisiniam tilto perdangos betonavimui

Dažniausiai tokių tiltų ilgis neviršija 25 m. Dėl nedidelio ilgio ir sąlyginai nedidelio bendro reikiamo betono kiekio, tokie tiltai yra betonuojami vienu kartu, išvengiant betonavimo sandūros siūlių (5 pav.). Plokštinių perdangų tiltų sparnai ir sienos gali būti pastatytos lygiagrečiai keliui arba pasvirę.

Švedijos transporto administracijos duomenų bazės duomenimis, plokščių rėmų tiltai sudaro beveik 46 % visų tiltų Švedijoje [11].



6 pav. Tiltas su plokštine perdanga

Autorių kolektyvas M. S. Yavari ir kiti atliko labai įdomų ir unikalų tyrimą. Buvo siekiama integruoti optimizacijos procesus (sukurti algoritmus) į plokštinių tiltų konstrukcijų projektus, rengiamus naudojant kompiuterinį trimatį modeliavimą. Optimizacijos tikslas – kaip įmanoma labiau sumažinti neigiamą poveikį aplinkai (ir su tuo susijusias išlaidas) ir sumažinti investicines išlaidas. Atlikus tyrimą buvo sukurtas optimizacijos procesas, kuriame vienas iš pagrindinių sprendimų yra sumažinanti perdangos aukštį, tai kompensuojant naudojant aukštesnės klasės betoną [22].

1.3.3 Kompozicinės tilto perdangos savybės

Visi kelio statiniai dėl agresyvios aplinkos sensta fiziškai, blogėj jų eksploatacinės sąlygos, sumažėja jų patikimumas. Vienas efektyviausių būdų, kuris prailgintų statinių konstrukcijų eksploataavimo laiką – vykdant remonto darbus naudoti šiuolaikines statybines medžiagas. Dėl savo gerųjų savybių vis plačiau naudojamos kompozitinės medžiagos, turinčios didelį mechaninį stiprumą, tamprumą, atsparumą korozijai, ne laidumą elektrai ir šilumai, labai gerą elektromagnetinių bangų pralaidumą [4].

Kompozitinės medžiagos plačiai taikomos transporto objektų statybai ir jų konstrukcijų remontui. Per paskutinius du dešimtmečius daugiau nei 50 tiltų pastatyta Europoje, Kanadoje, Japonijoje bei Kinijoje, kurių statybai buvo naudojamos konstrukcijos iš kompozitinių medžiagų. Dažniausiai tai buvo eksperimentiniai kelio statiniai, kurių konstrukcijas supa agresyvi aplinka [6].

Kompozitinė perdanga (angl. *Filler Beam Deck*) sudaryta iš valcuotų plieninių profilių, kurie glaudžiai išdėstyti skerspjūvyje išilgine kryptimi, papildomo armavimo plieninės armatūros, betono, apjungiančio minėtas dalis į visumą (7 pav.).

Plieninės sijos „dirba“ kartu su betonu ir perima apkrovas išilgine tilto perdangos kryptimi, o plieninė armatūra perima apkrovas skersine kryptimi [16].



7 pav. Kompozitinės perdangos įrengimas

Priklausomai nuo tilto paskirties (geležinkelių, automobilių ar pėsčiųjų) ir apkrovų gali būti paliekamas tuštumos skerspjūvyje, siekiant išlengvinti perdangą. Šių perdangų privalumai yra lengva ir greitai įrengiama konstrukcija ir didelė keliamoji galia [25].

Šie privalumai užtikrina, kad kompozicinių perdangų tiltai būtų efektyvus sprendimas kelių ir ypač geležinkelių statyboje [22].

Kompozitinėms perdangoms medžiagos gaminamos iš tradicinių statybinių medžiagų - betono ir gelžbetonio [13].



8 pav. Tiltas su kompozitine perdanga

Autoriai J. Odrobiňák, J. Bujnak ir J. Źilka atliko tyrimą, kuriame buvo ieškoma sprendimų, norint optimizuoti ir efektyvinti kompozitinių tiltų, statomų geleŹinkelio keliuose, projektinius sprendinius. Tyrime buvo analizuotas perdangos lenkimas, skirtingos plieno rūšys, sijų skerspūviai. Darbe pabrėŹiama, kad kompozitinė perdanga yra efektyvi tilto konstrukcijos dalis, ypač jei tilto tarpatramis nuo 6m iki 15m. Tiltai su tokiomis perdangomis turi maŹą (lyginant su kitais perdangų tipais) perdangos konstrukcijos aukštį, gerą statinį ir dinaminį standumą, taip pat nesudėtingas tilto statybos procesas. Yra siūloma vietoje daŹniausiai naudojamos valcuotosios H formos profilio sijos, naudoti H formos suvirintas sijas [34].

Kompozitinė tilto perdanga gerokai brangesnė uŹ kitas perdangas, tačiau paminėti kompozicinių perdangų privalumai, gerinantys kelio statinių konstrukcijų eksploatacines savybes, estetinę išvaizdą darbų greitį daŹniausiai nulemia jų pasirinkimą (8 pav.). Šių perdangų taikymas suteikia kelio statiniams geresnes technines ir eksploatacines sąlygas, ir ilgaamŹiškumą [22].

1.4 Kelio statinių defektai ir jų prieŹastys

Siekiant išvengti didelių finansinių išlaidų statinių remonto darbams, turi būti vykdoma nuolatinė techninės būklės stebėseną. Kiekvienas statinys turi ne tik konstrukcines, tačiau ir naudojimo ypatybes bei jautrias vietas, į kurias reikia atkreipti dėmesį eksploatacijos metu. Todėl kelio statinių vertinimo metu yra fiksuojami visi matomi ir aptinkami defektai bei paŹaidos [2].

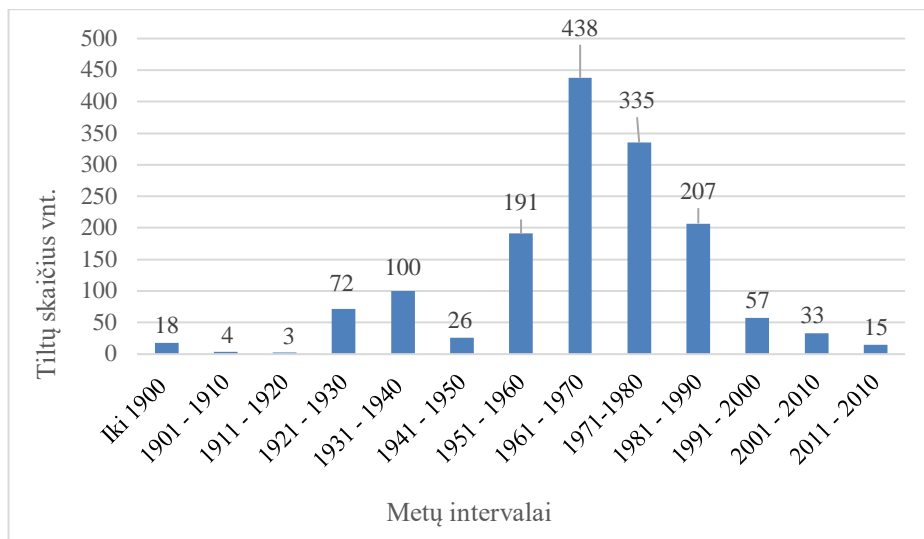
Kelio statinių defektai ir paŹeidimai gali atsirasti tiek statybos, tiek ir naudojimo metu. Defektai ir paŹaidos yra skirstomi pagal poveikio rūšį, atsiradimo prieŹastį, pavojingumo laipsnį, daŹnį bei išsivystymo laipsnį, atsiradimo ir vystymosi greitį, atsiradimo laiką ir vietą, galimybę aptikti [3].

Autoriai Ying-Mei Cheng ir Sou-Sen Leu savo darbe analizavo daŹniausiai pasitaikančius tiltų konstrukcijų defektus ir suskirstė juos į atinkamas grupes bei juos aprašė. Tiltų konstrukcijų defektai buvo klasifikuojami pagal jų savybes. Defektus sukeliančios/įtakojančios grupės: sauga ir aplinka, statybos proceso eiga, prieŹiūros - kontrolės procesas, statybos kokybės dokumentai, kitos prieŹastys. Šiose penkiose svarbiose grupėse statybos eigos defektų procentas yra didžiausias - maŹdaug 33%, statybos kokybės dokumentų įtaka defektams yra maŹdaug 29% , saugos ir aplinkos veiksnių įtaka - 19%, prieŹiūros - kontrolės proceso – 15%, o kitų veiksnių įtaka - 4%. Šiame darbe siūlomi integruoti metodai, kuriais galima išanalizuoti tilto defektus, suskirstyti juos į tinkamas grupes ir apibrėŹti juos ir tokią informaciją naudoti statybos proceso kokybei pagerinti. Taip pat aptariama reikšminga grįŹtamojo ryšio sistema, kuri gali užkirsti kelią pasikartojantiems defektams ir taip pagerinti konstrukcijos kokybę [31].

Atsiradus defektams, turintiems didelę įtaką kelio statinio laikomajai galiai bei eismo saugumui, tiltas yra uŹdaromas, rengiami projektai, o gavus visus reikiamus suderinimus, projektus ir pritarimus, šalinami defektai, atliekant remontą ar rekonstrukciją.

Pagrindinės kelio statinių defektų ir paŹaidų prieŹastys yra fiziniai ir cheminiai poveikiai – oro veiksniai, agresyvi aplinka, naudojimo sąlygų pokyčiai – įvairios perkrovos bei pagrindų sėdimai [14].

DaŹniausiai avarinė kelio statinio būklė užfiksuojama per vėlai dėl apŹiūrą atliekančių specialistų nepakankamos kvalifikacijos bei dėl klaidingo apŹiūros metu gautų duomenų interpretavimo arba nepakankamo finansavimo [14].



9 pav. Tiltų skaičius Lietuvoje pagal statybos metų grupes [14]

Remiantis Lietuvos automobilių kelių direkcijos duomenimis, 80 proc. Lietuvoje eksploatuojamų tiltų yra senesni nei 35 metai. Tiltų pasiskirstymas pagal metų grupes pateikiamas 9 paveiksle [14]. O pasaulinė praktika rodo, kad pirmasis tilto remontas turėtų būti atliekamas po 25 metų nuo statinio pastatymo [14]. Todėl didžiosios dalies Lietuvos tiltų, tikėtina būklė blogės, o taip pat ir augs jų avarijos tikimybė.

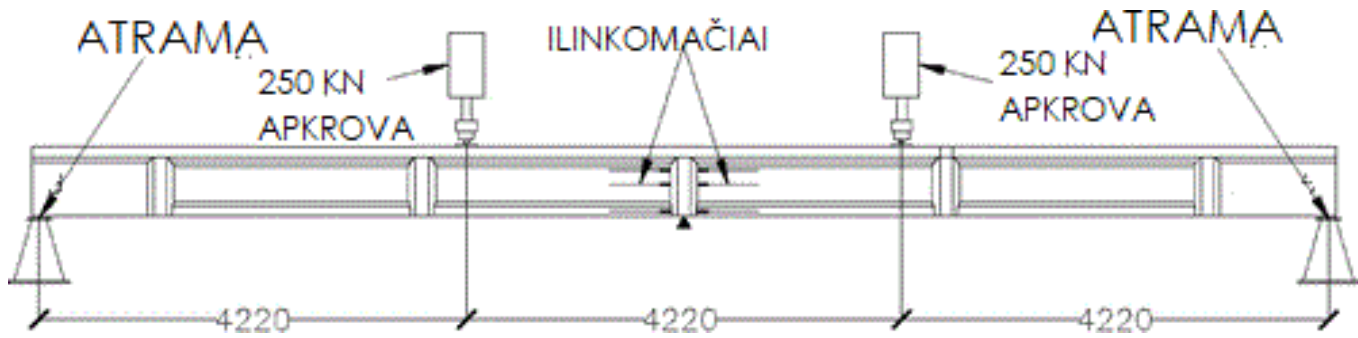
Lietuvos automobilių kelių direkcijos duomenimis, 5 proc. visų Lietuvoje esančių tiltų blogos būklės, todėl tolimesniam kelio statinio eksploatavimui būtini eismo apribojimai. Tokie eismo apribojimai dažniausiai iškyla dėl defektų ir pažaidų esančių pačioje konstrukcijoje ar perdangoje. Žiemą prisnigus, siekiant užtikrinti transporto eismo saugumą, tiltai pabarstomi druska ar kitomis cheminėmis medžiagomis. Ko pasėkoje, ardomas konstrukcijų apsauginis betono sluoksnis, cheminės medžiagos patenka į gelžbetoniniuose elementuose esančius armatūros strypus, sukeldamos koroziją. Taip pat esant temperatūros pokyčiams, į betone esančius plyšius patekęs vanduo užšąla ir atšyla daugybę kartų. Dėl šių priežasčių atsiranda įvairios tiltų konstrukcijų problemos, tai ardomas medžiagos, mažėja konstrukcijų laikomoji galia, prastėja kelio statinių bendras vaizdas, reikalingos lėšos remonto darbams [13].

Tiltų konstrukcijų defektai yra labai įvairūs: tai poros, kavernos ir tuštumos, nuskelti kampai ir briaunos, plyšiai betone, žemas betono stipris ir atsparumas šalčiui, betono ir armatūros korozija, blogai sujungti elementai, dideli konstrukcijų įlinkiai, posvyriai ir poslinkiai [11].

Vienas iš dažniausiai pasitaikančių defektų - armatūros korozija. Ją įtakoja chloro jonų įsiskverbimas į gelžbetonines konstrukcijas. Vandenyje ištirpę chloridai prasiskverbia per betoną ir pasiekia jame esančius plyšius. Korozija betone nevyksta, jei betono santykinė drėgmė yra mažesnė nei 60 proc., ir tuomet, kai betonas yra visiškai apsemtas vandeniu [26].

Straipsnyje P. Torill ir R. E. Melchers aprašo savo atliktą tyrimą, kuriame buvo vertinama armatūros korozijos įtaka sijos laikomajai galiai. Buvo nagrinėjamas 45 metų senumo 34 angų ir 457 metrų ilgio sijinis tiltas. Įvertinus sijose atsiradusių plyšių dydį, tankumą jų išsidėstymą, tiltą buvo nuspręsta griauti, nenorint rizikuoti eismo saugumu, kadangi prieš griovimą atlikti bandymai nepateikė pakankamai informacijos, kad būtų galima įvertinti likusią tilto laikomąją galią. Demontavus

per dangos sijas išsamiam įvertinimui buvo pasirinktos trys tilto sijos. Statybinėje laboratorijoje buvo atliekamas bandymas pagal 10 paveikslėlyje pateiktą schemą. Sijų apkrovos bandymai parodė, kad korozijos pažeistų sijų keliamoji galia buvo žymiai mažesnė nei sijos projektinė galia. Buvo akivaizdus ryšys tarp armatūros korozijos laipsnio ir apkrovos dydžio. Rasta skerspjūvio vietų, kuriose armatūros nuostoliai siekė nuo 75% iki 100%. Buvo patvirtinta, kad išilginis įtrūkimas atkartoją išilginės armatūros trajektoriją ir kad vyravo reikšminga ir lokaliai stipri armatūros korozija, net jei anksčiau toje vietoje buvo vykdytas lokalus armatūros padengimas apsauginėmis dangomis [32].



10 pav. Tilto sijos bandymo apkrovų išdėstymo schema [32]

Kitas dažnai pasitaikantis defektas, trumpintis tiltų gelžbetoninių konstrukcijų eksploataavimo laiką - betono pleišėjimas. Gelžbetoninėse konstrukcijose atsivėrę plyšiai įtakoja betono ir armatūros sukibimo sumažėjimą ar visišką praradimą [16].

Plyšiai gelžbetoninėse konstrukcijose išskiriami į kategorijas: tai plyšiai, atsirandantys dėl išorinių apkrovų poveikio bei plyšiai, atsirandantys nepriklausantys nuo apkrovimo sąlygų [26].

Plyšiai, atsiradę dėl išorinių apkrovų poveikio atsiveria laikančiosios konstrukcijos normaliniame ar įstrižajame pjūviuose. Tuo tarpu plyšiai, nepriklausantys nuo apkrovimo sąlygų atsiveria dėl plastiškojo betono susitraukimo, džiūvimo bei savaiminio traukumo, betono slūgimo ir temperatūros poveikio. Plyšiai skirstomi pagal jų orientaciją konstrukcijoje, tai išilginiai, skersiniai, įstrižieji ar atsitiktinės orientacijos plyšiai.

Konstrukcijų pleišėjimą įtakoja (11 pav.):

- 1) Plastiškojo betono susitraukimas – įtakojamas aukštos temperatūros, mažos santykinės oro drėgmės ar didelio vėjo greičio konstrukcijos paviršiuje, visgi šie plyšiai dėl savo mažo gylio neveikia gelžbetonio eksploatacijos.
- 2) Betono slūgimas – plyšiai atsiranda esant didesniai betono slankumui, mažesniai apsauginiam betono sluoksniui bei didesniui skersmeniui horizontaliems armatūros strypams.
- 3) Savaiminis betono traukumas – atsiranda dėl cemento hidratacijos metu vykstančių cheminių reakcijų, įtakančių plyšių atsivėrimą dėl plastiškojo betono traukumo.
- 4) Betono traukumas džiūstant – kuomet drėgmė pasišalina iš cemento tešlos, esančios betono mišinyje. Besitraukiančiame betone atsiranda tempimo įtempiai, įtakojantys konstrukcijos plyšėjimą.
- 5) Temperatūriniai plyšiai - temperatūros skirtumus tarp gelžbetoninės konstrukcijos elementų įtakoja nevienodas išskiriamos šilumos kiekis, cemento hidratacija, skirtingas atvėsimo greitis bei aplinkos temperatūros pokyčiai [27].

Supleišėjusiose konstrukcijose armatūra nėra tinkamai apsaugota nuo agresyvios aplinkos poveikio, kas įtakoja armatūros skerspjūvio sumažėjimą, atsiradusį dėl korozijos poveikio bei konstrukcijos elgsenos [27].

Atsiradę plyšiai daro neigiamą poveikį gelžbetonio konstrukcijai: suardomas konstrukcijos vientisumas, sumažinama konstrukcijos laikomoji galia, sutrumpėja eksploatavimo laikas.



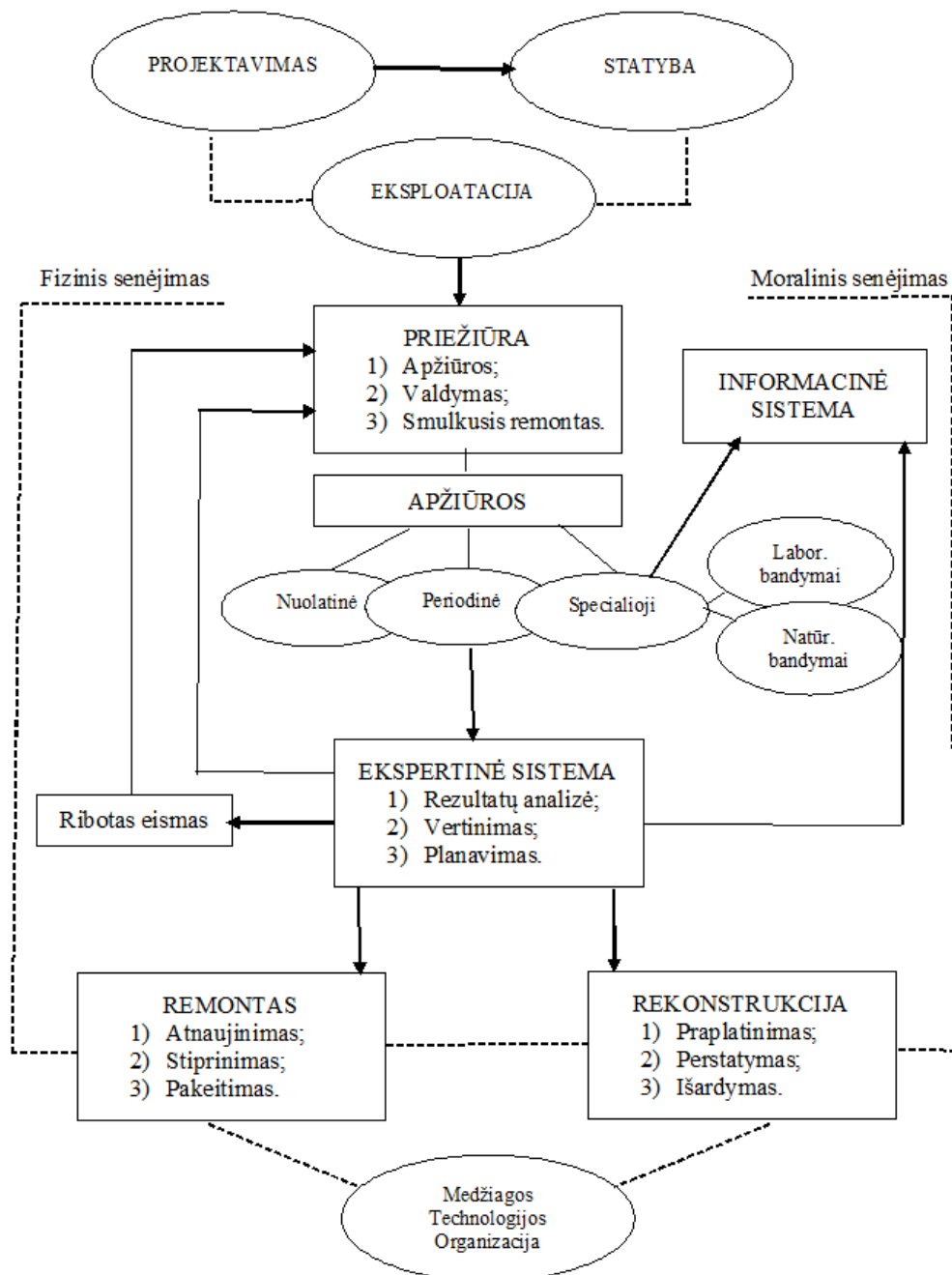
11 pav. Supleišėjusi gelžbetoninė tilto sija

1.5 Kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos vertinimas

Kelio statinių įrengimo bei eksploatacijos vertinimo dėka galima išvengti rimtų avarijų ant tiltų bei tilto griūčių. Tiltų naudojimo valdymo schema pateikta 12 paveiksle.

Kelio statinių techninis naudojimas susideda iš [28]:

- 1) Techninės priežiūros, aptarnavimo ir apžiūrų.
- 2) Lauko, laboratorinių tyrimų.
- 3) Informacinės sistemos.
- 4) Ekspertinės sistemos - būklės analizės ir vertinimo, profilaktinių priemonių planavimo).
- 5) Eilinio - planinio ir neplaninio remonto.
- 6) Kapitalinio - planinio ir nenumatyto remonto.
- 7) Rekonstrukcijos.



12 pav. Tiltų naudojimo valdymo schema [28]

Kelio statinių būklė vertinama trimis būdais [1]:

- 1) Rangų (klasifikacinė) sistema – vertinami pavieniai elementai arba visas statinys. Vertinama balais, klasėmis ar kategorijomis. Tai plačiausiai vartojamas metodas.
- 2) Analitiniais metodais – tai matematinis modeliavimas, šiuolaikiniai konstrukcijos skaičiavimo ir analizės metodai, apskaičiuojant faktinę konstrukcijų laikomąją galią, patikimumą ar kitus parametrus. Šiuo būdu vertinamas konstrukcijų, siekiant išsiaiškinti įtempių ir deformacijų būvį, apskaičiuoti laikomosios galios atsargą, deformacijas, pleišėjimą, dinامينius parametrus ir palyginti juos su išorės apkrovų sukeltomis įrašomis arba normatyviniais šių parametrų dydžiais. Būtina patikrinti, ar pagaminta konstrukcija atitinka projektą ir konstravimo taisyklių reikalavimus, išdėstytus normatyvuose.
- 3) Natūriniais ar laboratoriniais atskirų konstrukcijų ir elementų ar viso statinio bandymais. Natūriniai ir laboratoriniai konstrukcijų bandymai vykdomi, kai analitinius metodus neįmanoma

panaudoti dėl neaiškios konstrukcijų būklės arba, kai norima gauti papildomą informaciją, būtina vertinant konstrukcijų būklę pirmuoju ar antruoju būdu.

Kelio statinių įrengimo bei eksploatacinis vertinimas (13 pav.) atliekamas trimis etapais [5]:

1) Pirmasis tyrimų etapas - analizuojama projektinė dokumentacija, tai darbo brėžiniai, tipinių detalių albumai, skaičiavimai bei archyvinė dokumentacija, tai statybos ar remonto darbų aktai, techninės priežiūros žurnalai, apžiūrų, bandymų ar tyrimų ataskaitos, renkami duomenys apie statinio istoriją, naudojimo sąlygas. Taip pat atliekama pirminė objekto priežiūra, numatomi tyrimų metodai, atlikimo terminai, mastas, paruošiamų darbų sudėtys ir apimtys.

2) Antrasis tyrimų etapas – tiriamos statinių konstrukcijos. Tiriamųjų darbų mastas priklauso nuo statinio paskirties, didumo, senumo, konstrukcijų būklės, tyrimų tikslo, rezultatų panaudojimo, materialinio techninio aprūpinimo. Tyrimo metu nustatomi konstrukcijų, jų medžiagų, apkrovų ir aplinkos poveikių parametrai. Statinio apžiūra gali būti ištisoji, kai stebimos visos statinio konstrukcijos bei atrankinė, kai apžiūrimi atsitiktiniai parinkti elementai. Atranka paprastai sudaro nuo 1 iki 10 proc. viso elementų kiekio. Šis tyrimų etapas yra itin sudėtingas, reikalaujantis daug laiką, lėšų, specialistų, prietaisų bei įrangos. Tyrimo metu atrinktos stebėti statinio konstrukcijos apžiūrimos, aprašomi, išmatuojami ir registruojami defektai – įlinkiai, posvyriai, poslinkiai, nurodoma jų rūšis, parametrai bei atsiradimo priežastys. Kelio statinio defektai registruojami specialiose formose, fotografuojami bei filmuojami.

3) Trečiasis tyrimų etapas – tyrimo duomenų analizė, įvertinama statinio ir jo elementų būklė. Nuo trečiojo etapo priklauso galutinis statinio konstrukcijų būklės įvertinimas, kurį atlieka specialistai turintys patirtį planuoti tyrimus, bandymus bei teisingai interpretuoti gautus rezultatus.

Surinkus visus duomenis apie kelio statinį bei atlikus konstrukcijos skaičiavimo ir analizės veiksmus, apskaičiuojama faktinė konstrukcijų laikomoji galia, patikimumas ar kiti parametrai. Gavus laboratorinių ar natūrinių bandymų rezultatus, analizuojamos ir įvertinamos aplinkos sąlygos, konstrukcijų matmenys ir statinės schemos, medžiagų savybės, deformacijos ir įtempiai, irimo procesai. Galutinis būklės vertinimas baigiamas ekspertų techninėmis išvadomis.

Konstrukcijų medžiagų senėjimas yra neišvengiamas procesas, kurį galima tik sulėtinti tinkamai prižiūrint statinį. Statinio konstrukcijų senėjimo (ilgalaikiškumo) prognozė yra sudėtingas, daugiakriteris uždavinys, susijęs su konstrukcijų medžiagų ir aplinkos poveikių tarpusavio sąveika.

Pažaidos ir defektai gali būti klasifikuojami pagal galimybę aptikti: išoriniai (matomi), kuriuos nesunku aptikti vizualios apžiūros metu, ir vidiniai (paslėpti), nustatomi pagal šalutinius požymius arba naudojant specialius prietaisus. To paties pobūdžio ir didumo defektai ar pažaidos gali būti vertinami skirtingai – atsižvelgiant į statinio svarbą ir naudojimo trukmę, konstrukcijų svarbumo laipsnį, statybinių medžiagų savybes, agresyviosios aplinkos pobūdį, statinio fizinio nusidėvėjimo lygį ir t. t. [5].

Pasaulyje jau yra kuriamos autonominės tiltų priežiūros sistemos. Autorių kolektyvas Zi-Hong Yin, Yuan-Fu Li, Jian Guo savo darbe aprašo apie tiltų valdymo sistemos integravimą ir projektavimą. Yra sukurta tokia duomenų bazių valdymo sistema, kuri gali užpildyti pagrindinę informaciją apie tiltą, jo apžiūras, priežiūros ir remonto istoriją ir gali teikti informaciją pagal pateiktas užklausas, automatiškai sugeneruoti dokumentus, kurių reikia tilto išsamiam vertinimui. Autoriai išskiria dar viena tokios sistemos privalumą - išsami vertinimo sistema, kurioje yra suprogramuota daugybės

ekspertų patirtis ir žinios, gali pagal įvestus pagrindinius tilto elementų parametrus, aplinkos sąlygas, eismo intensyvumą ir kitus duomenis, įvertinti visus tilto parametrus. Taip pat tokia sistema turi informacijos dalinimosi funkciją, kuri leidžia stebėjimų duomenis apdoroti ir sisteminti projektavimo ir eksploatacijos specialistams [33].

Defektų (pažaidų) vieta ir aprašymas	Galimos defektų (pažaidų) atsiradimo priežastys
1	2
<p>Deformaciniai pjūviai</p> <ul style="list-style-type: none"> Abiejų deformacinių pjūvių konstrukcija susirusi – jau senai sukorodavę ir iškritę profiliniai kompensatoriai, virš ramtų yra ~5,0 cm pločio plyšiai, į kuriuos nuo važiuojamosios dalies suteka vanduo. Daroma didelė žala perdangos sijų galams ir ramtų rėmsijėms (rygeliams) 	<p>Elemento nusidėvėjimas Aplinkos poveikis <u>Ilgalaikė nepriežiūra</u></p>
	

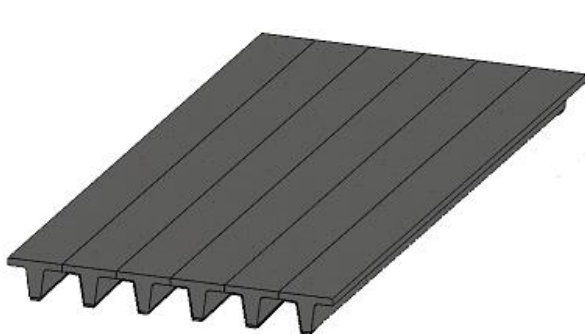
13 pav. Tilto esminės apžiūros ataskaitos ištrauka (VšĮ Transporto ir kelių tyrimo Institutas)

2. Perdangos tipų konstrukcinė ir ekonominė analizė

Šiame darbe tirsime trijų skirtingų konstrukcijų tiltus, kurie realiai pastatyti tame pačiame Lietuvos regione. Jų pagrindiniai rodikliai – labai panašūs, tačiau skiriasi perdangų tipai. Du tiltai yra pastatyti Lietuvoje ir vienas Lietuvos – Latvijos pasienyje. Pastarosios perdangos projektavimo ir techninės priežiūros darbus atliko latviai. Tiltų perdangų tipai pastatyti Lietuvoje – sijinė ir kompozitinė, o Lietuvos–Latvijos pasienyje – tiltas su plokštine perdanga.

2.1 Apkrovų poveikiai perdangoms

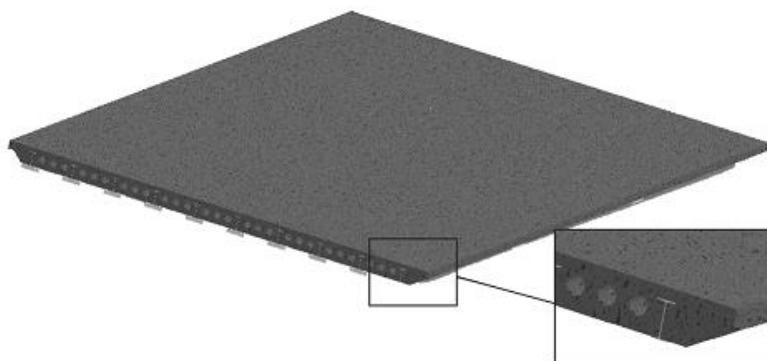
Tam, kad būtų galima ištirti, kuris perdangos tipas yra racionaliausias, visi trys tiltai buvo sumodeliuoti kompiuterine erdvinio modeliavimo programa „SOLIDWORKS“. Pasinaudojus jos priedu „SOLIDWORKS Simulation“ atlikta statinė modelių analizė baigtinių elementų metodu. Visos trys tiltų perdangos buvo modeliuojamos programoje sukuriant vienalytę atstojamąją medžiagą, kurios parametrai būtų kaip įmanoma artimesni gelžbetonio savybėms: gniuždomasis stipris $f_c = 30$ MPa; tempiamasis stipris $f_t = 2,9$ MPa; tamprumo modulis $E_c = 33$ MPa; Puasono koeficientas $\nu = 0,2$; plieno takumo riba $f_{yk} = 500$ MPa; tankis $\rho = 2500$ kg/m³. Kompozitinės perdangos metalinių sijų savybės: tempiamasis stipris $f_t = 370$ MPa; tamprumo modulis $E_c = 210$ MPa; Puasono koeficientas $\nu = 0,28$; tankis $\rho = 7800$ kg/m³; plieno takumo riba $f_{yk} = 275$ MPa. 14-16 paveiklėliuose pateikiami perdangų modeliai, sukurti modeliavimo aplinkoje.



14 pav. Sijinės perdangos modelis

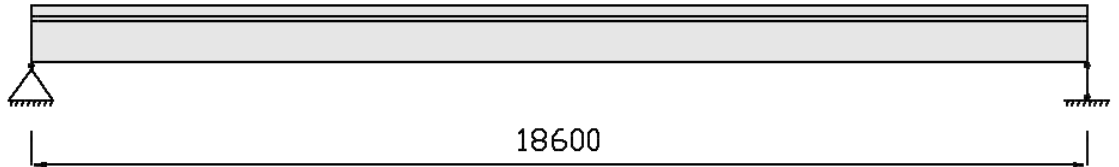


15 pav. Plokštinės perdangos modelis

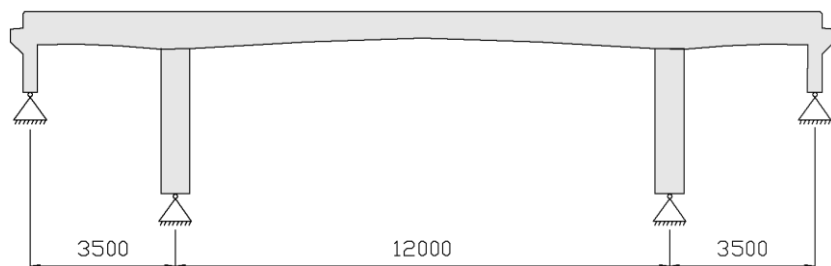


16 pav. Kompozitinės perdangos plokštės modelis su detalizuotu HEB sijos ir tuštumų vaizdu

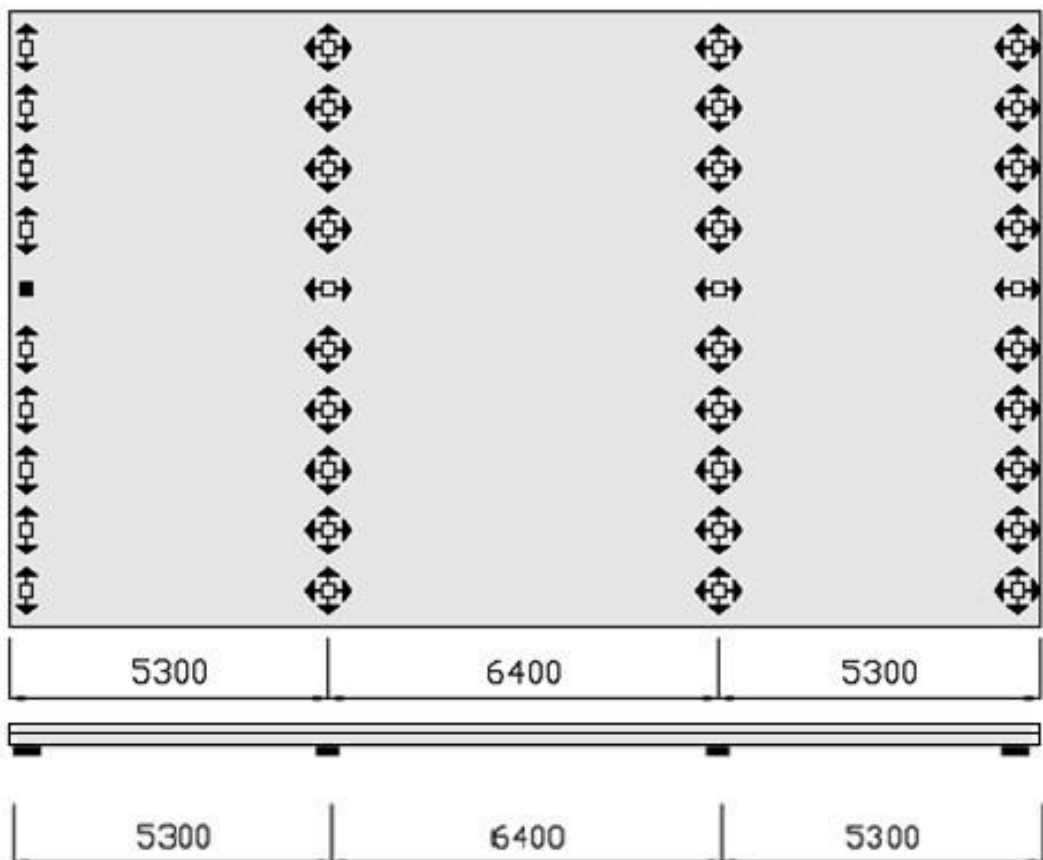
Sijinė perdanga turi dvi atramas, o kompozitinė ir plokštinė – keturias. Sijinės ir kompozitinės perdangos poveikiai atramoms perduodami per elastomerinius guolius, kurie įtvirtinti standžiai, o plokštinė perdanga guolių neturi, perdanga su atramomis sujungta standžiai, o ne šarnyriškai. Perdangų įtvirtinimo schemas pateiktos 17-19 pav.



17 pav. Sijinės perdangos įtvirtinimo schema



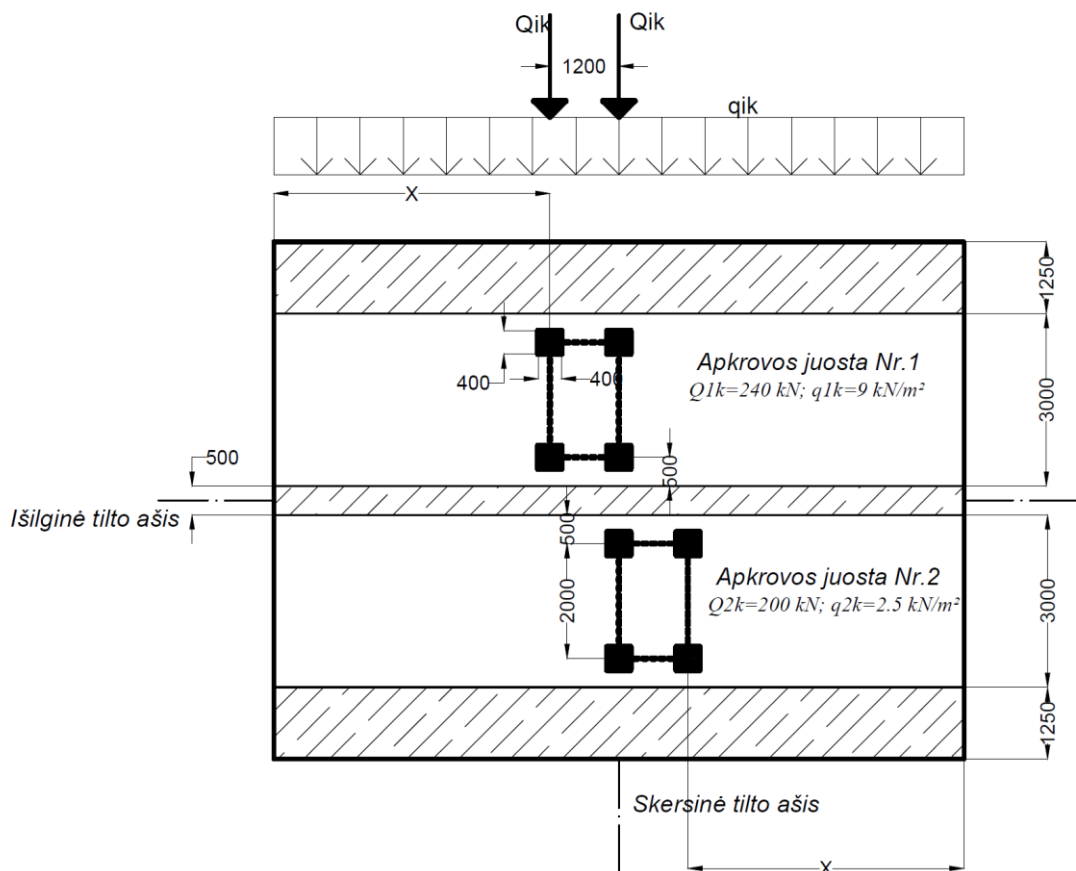
18 pav. Plokštinės perdangos įtvirtinimo schema



19 pav. Kompozitinės perdangos atramų schema: ■ – žymi nepaslankų guolį; ⇕ ir ⇔ – žymi viena kryptimi paslankius guolius; ⇕⇔ – žymi dviem kryptimis paslankius guolius

Tiltais važiuoja daugybė skirtingų transporto priemonių, kurių srautų intensyvumas gali būti labai skirtingas, todėl sumodeliuoti tikslų jų poveikį labai sudėtinga. Dėl šios priežasties yra taikomi abstraktūs apkrovų modeliai, kurių poveikiai, įvertinant tam tikrą tikimybę, būtų artimi realioms eismo poveikiams [13]. Norint išsiaiškinti atsirandančias įražas, įlinkius ir kitus parametrus bei juos tarpusavyje palyginti, pritaikytas 1-asis apkrovos modelis [13]: naudotos sutelktosios ir tolygiai išskirstytosios apkrovos, pakeičiančios didžiąją dalį sunkvežimių ir automobilių poveikių. Šis modelis skirtas bendrajai ir vietinei analizei. 1-ąjį automobilių apkrovos modelį (20 pav.) sudaro: vežimėliai TS (angl. *Tandem System*) – dviašės atremtos 4 ratais apkrovos, kurių vienos ašies svoris – $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$; tolygiai paskirstytosios apkrovos UDL (angl. *Uniformly Distributed Load*) $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$; tolygiai išskirstytosios apkrovos neuždengtame juostomis važiuojamosios dalies plote: $\alpha_{qr} \cdot q_{rk}$; čia α_{Qi} , α_{qi} ir α_{qr} – apkrovos koreguojantieji koeficientai. Kadangi tiltai pastatyti magistraliniuose keliuose, tai koeficientas $\alpha_{Qi} = 0,8$, o visų kitų dydžių $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = 1,0$ [10].

Kiekvienai perdangai yra nurodoma tokia pati apkrova, kurios dydžiai pateikti 1-oje lentelėje. Kadangi visi tiltai turi dvi važiuojamąsias juostas, todėl yra modeliuojamos dvi apkrovų juostos ir trys tarpjuosčiai. Vežimėlių apkrova modeliuojama ties tilto skersine (simetrijos) ašimi, siekiant imituoti pačią nepalankiausią konstrukcijai situaciją ir tokiu būdu patikrinti konstrukcijos atsparumą apkrovai.



20 pav. Automobilių kelių tiltų pagrindinis apkrovų modelis ir apkrovų juostų išdėstymas, atliekant skaičiavimus

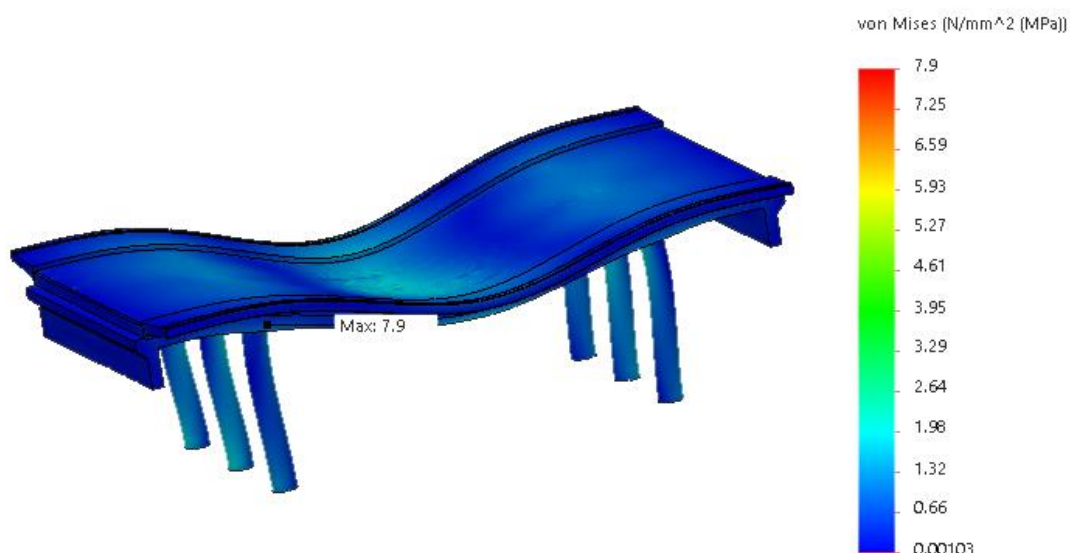
1 lentelė. Apkrovų dydžiai (žr. 20 pav.)

Apkrovos vieta	Atstumas X nuo vežimėlio ašies iki sijinės perdangos krašto, m	Atstumas X nuo vežimėlio ašies iki plokštinės perdangos krašto, m	Atstumas X nuo vežimėlio ašies iki kompozitinės perdangos krašto, m	Dviašio vežimėlio-tandemo TS ašies svoris Q_{ik} , kN	Tolygiai paskirstytoji apkrova UDL, q_{ik} arba q_{rk} , kN/mm ²
1 apkrovos juosta	8,1	8,3	7,3	$300 \times 0,8 = 240$	$9 \times 1,0 = 9,0$
2 apkrovos juosta				$200 \times 1,0 = 200$	$2,5 \times 1,0 = 2,5$
Neuždengtas juostomis važiuojamosios dalies likutis	-	-	-	0	$2,5 \times 1,0 = 2,5$

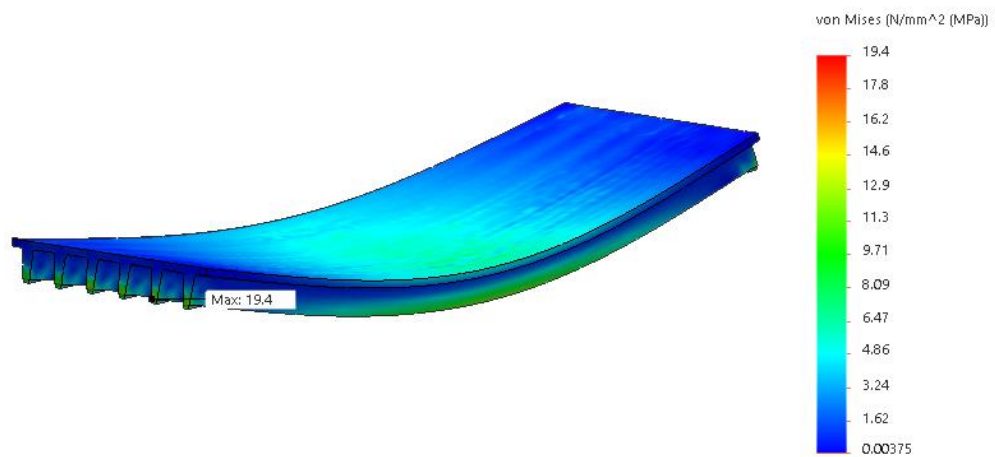
Skaičiavimų rezultatai, t. y. įtempių intensyvumo pasiskirstymas ir maksimalūs įlinkiai, pateikti 2 lentelėje ir 21-26 pav. Mažiausi įlinkiai ir mažiausi įtempiai atsiranda plokštinėje perdangoje (21, 24 pav.). Didžiausios įtempių reikšmės ($\sigma = 7,9$ MPa) atsiranda ties kolonos ir perdangos susijungimo vieta, o didžiausi įlinkiai ($u = 1,65$ mm) ties vidurinio tarpatramio (antras tarpatraminis iš trijų) viduriu.

Tuo tarpu sijinėje perdangoje didžiausi įtempiai ($\sigma = 19,4$ MPa) susidaro ties sijos atrėmimo vieta į guolį, o didžiausi įlinkiai ($u = 17$ mm) ties tarpatramio viduriu (22, 25 pav.).

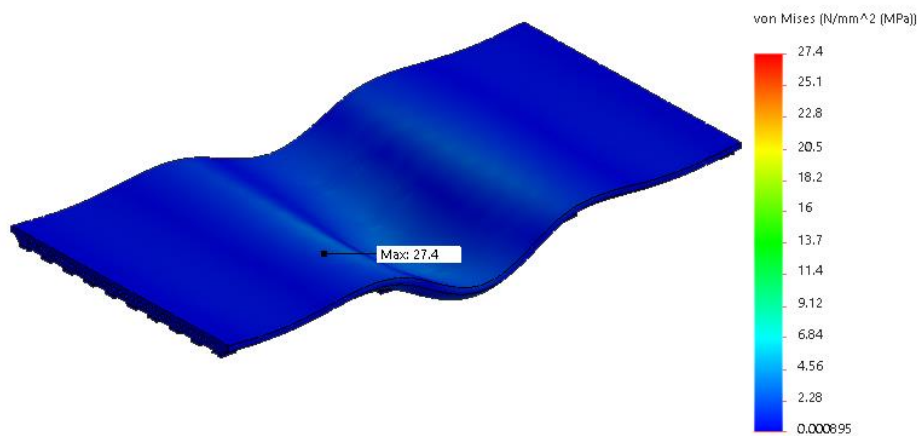
Iš visų trijų modeliūtų perdangų patys didžiausi įtempiai ($\sigma = 27,4$ MPa) atsiranda kompozitinės perdangos vidurinių atramų guolių sąlyčio taškuose su sijomis ir vidurinio tarpatramio (antras iš trijų) metalinių sijų vidurio apatinėje dalyje (23 pav.). Didžiausios įlinkių reikšmės atsiranda taip pat ties viduriniu tarpatramiu, tačiau įlinkis yra mažas – 1,26 mm (26 pav.).



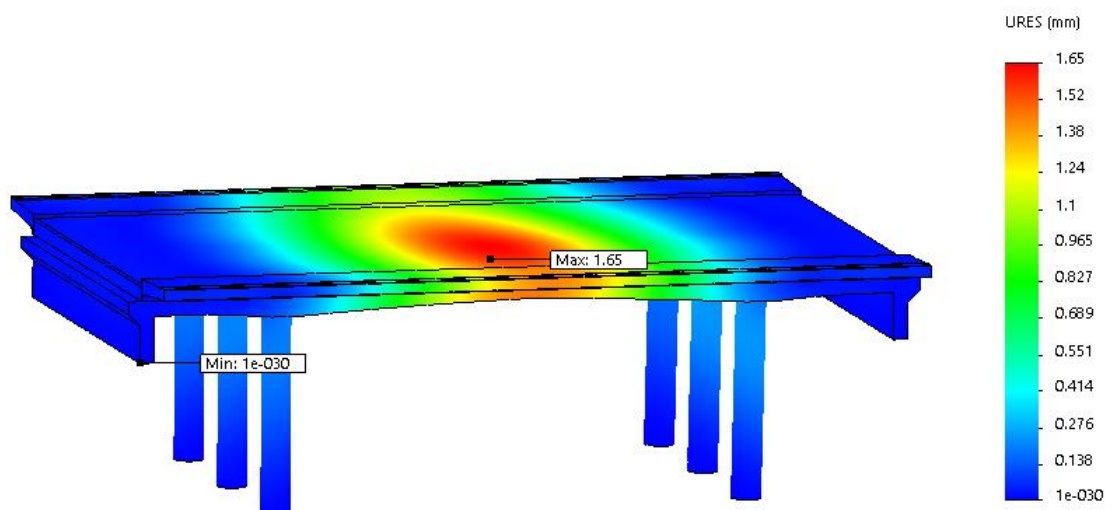
21 pav. Plokštinėje perdangoje veikiantys įtempiai



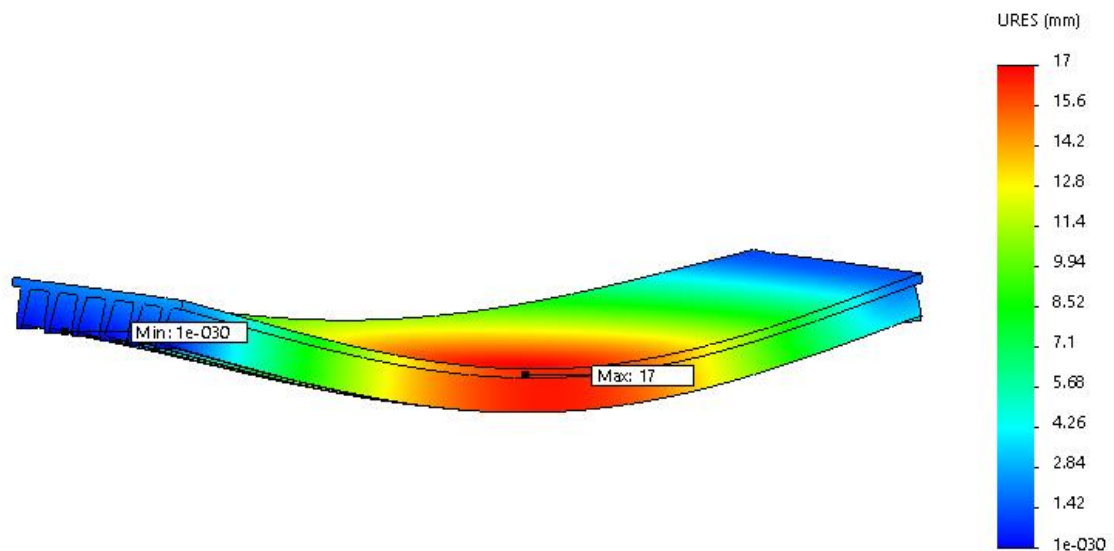
22 pav. Sijinėje perdangoje veikiantys įtempiai



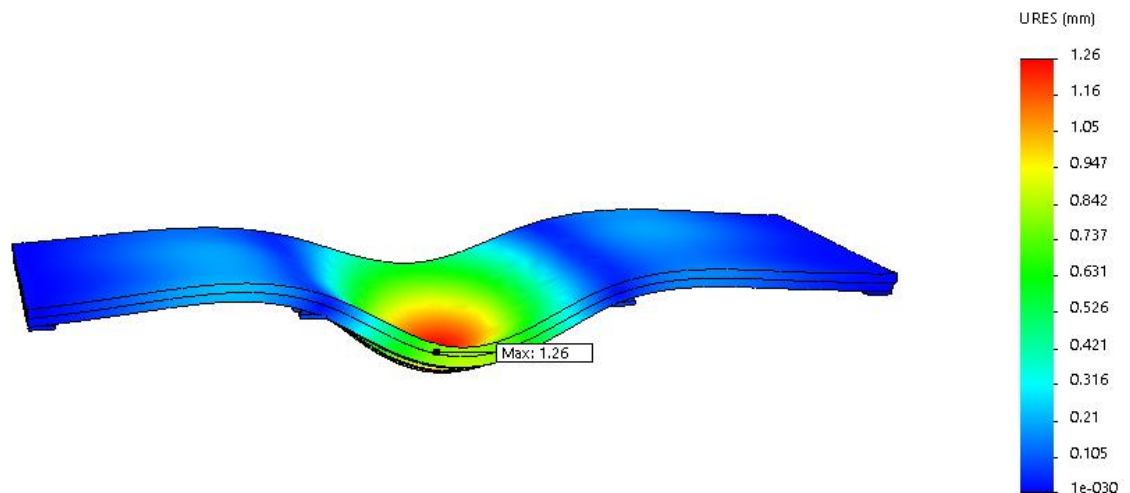
23 pav. Kompozitinėje perdangoje veikiantys įtempiai



24 pav. Plokštinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai



25 pav. Sijinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai



26 pav. Kompozitinėje perdangoje atsirandantys įlinkiai

Visų trijų perdangų tipų palyginamieji duomenys, gauti atlikus skaičiavimus, pateikti 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Perdangų įrašos ir įlinkiai

Eil. Nr.	Perdangos tipas	Didžiausi įtempimai pagal vonMises'o kriterijų, MPa	Ribinis modelio atsargos koeficientas		Įlinkiai, mm	Leistini įlinkiai, mm
			betone	pliene		
1	Sijinė, gelžbetonyje	19,4	1,16	25,8	17	25
2	Kompozitinė: plieninėse sijose	27,4	–	10	1,26	10
	gelžbetonyje	3,7	8,1	135		
3	Plokštinė, gelžbetonyje	7,9	3,8	63,3	1,65	15

Apibendrinant skaičiavimo rezultatus, matyti, kad iš darbe nagrinėtų perdangų racionaliausiai parametrai parinkti yra kompozitinės perdangos. Skaičiavimai rodo, kad metalinėse sijose didžiausių įtempių reikšmės siekia apie 10% sijų plieno takumo ribos, o gelžbetonyje atsirandantys įtempiai sudaro tik apie 0,1% gelžbetonio takumo ribos. Dėl perdangoje įrengtų tuštumų, joje atsiranda 3,5 karto didesni įtempiai lyginant su plokštine perdanga. Perdangų įlinkiai skiriasi daugiau nei 10 kartų, tačiau atsargos koeficientų dydžiai rodo, kad iki ribinių dydžių yra nemaža atsarga.

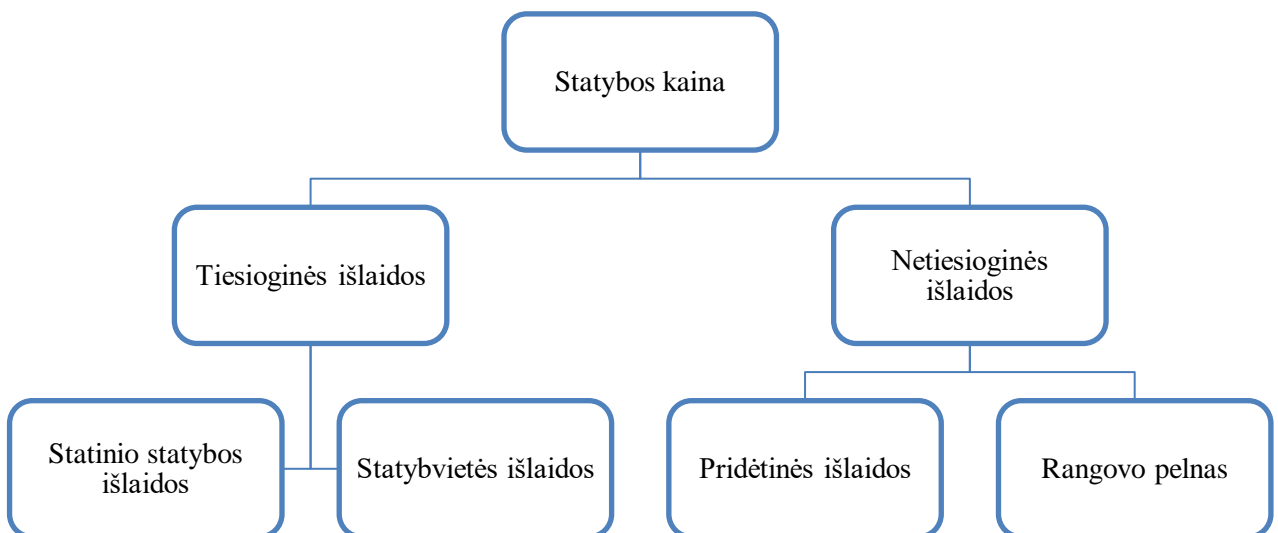
Mažiausiai racionali yra plokštinė perdanga, kurioje veikia mažiausios įrašos ir atsiranda mažiausi įlinkiai. Skaičiavimai rodo, kad perdangos konstrukcija yra parinkta su labai didele skaičiuojamąja atsarga. Dėl tokių gautų rezultatų galima daryti prielaidą, kad plokštinė perdanga būtų neracionali ir ekonominiu požiūriu.

Konstrukciniu požiūriu, perdangų tipus, pagal racionalumą galima išdėstyti taip:

1. Kompozicinė perdanga.
2. Sijinė perdanga.
3. Plokštinė perdanga.

2.2 Tilto perdangų konstrukcijų ekonominis palyginimas

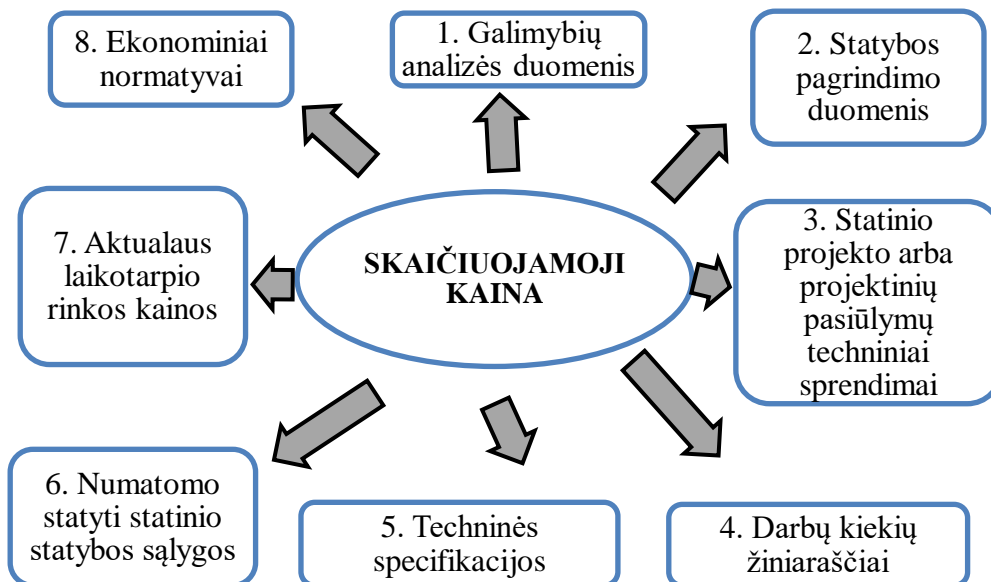
Statybos projektų kainos apskaičiuojamos įvertinant išlaidas, kurios yra tiesiogiai susijusios su numatoma statinio statyba ir kurios yra netiesiogiai susijusios, tačiau jas pagrįstai galima priskirti to paties statinio statybai (27 pav.) [4.a].



27 pav. Statybos kainos išlaidų sudėtis [4.a]

Konstrukcijų ekonominiam palyginimui nustatoma skirtingo tipo tilto perdangų įrengimo kaina.

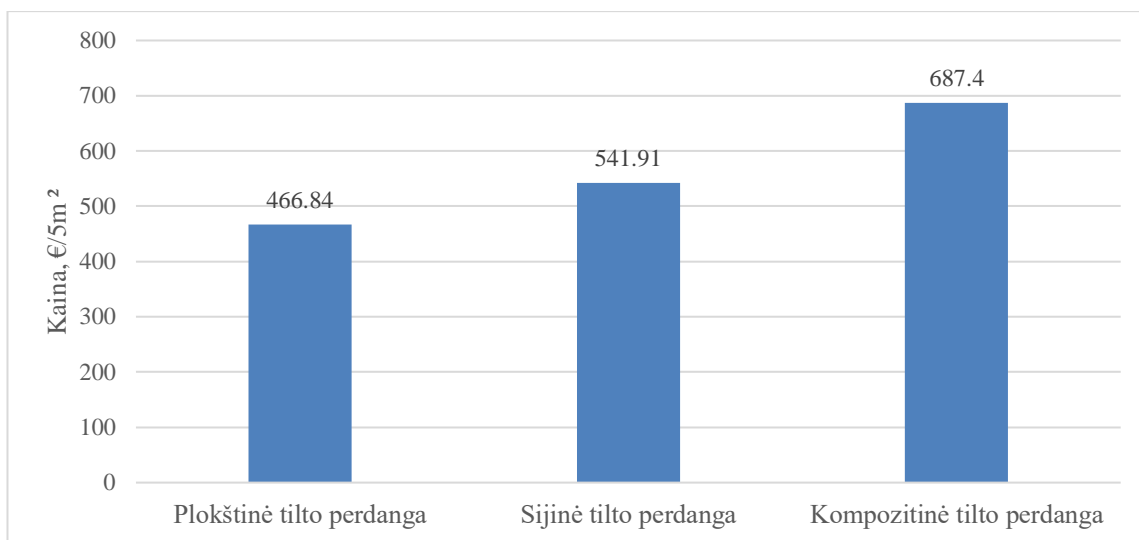
Bendruoju atveju statybos skaičiuojamoji kaina apskaičiuojama vadovaujantis 28 paveiksle aprašytais pagrindais.



28 pav. Skaičiuojamosios kainos nustatymo pagrindai [4.a]

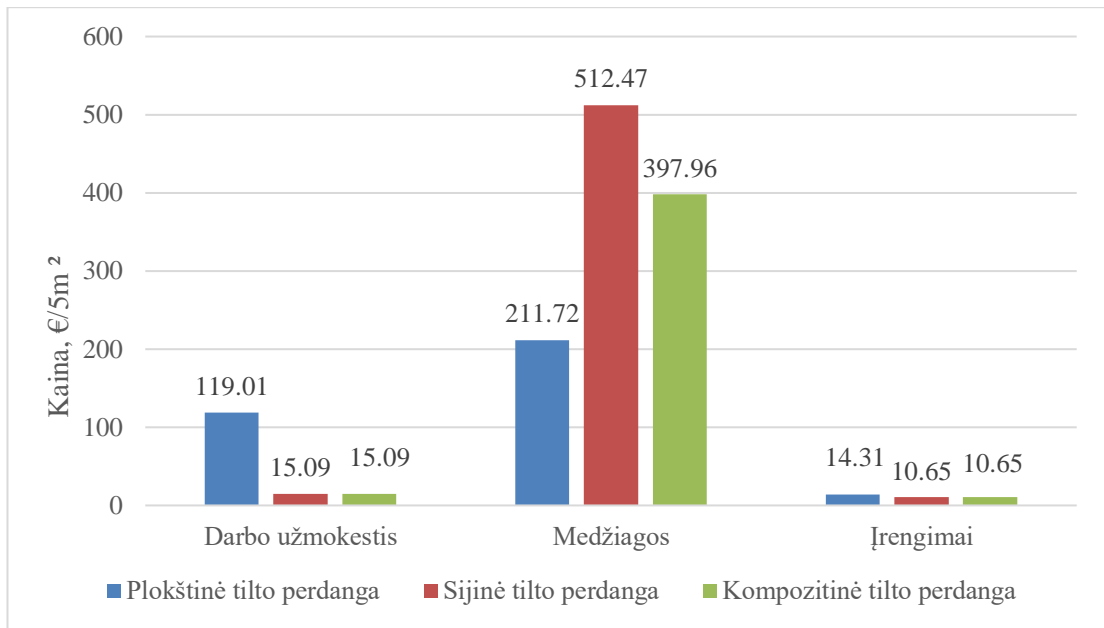
Ekonominiam palyginimui atlikti numatyta paimti 5 kv. metrų (5 m^2) plokštinės, sijinės ir kompozitinės perdangos. Priimta, kad gelžbetoninėse konstrukcijose esantys armatūros gaminiai sudaro 150 kg/m^3 . Surenkamų sijų kainą pasiūlė UAB „Markučiai“.

Atlikus skaičiavimus su sąmatų skaičiavimo programa „SES“ (Statybos ekonominiai skaičiavimai) gauta, jog plokštinės tipo perdangos 5 m^2 įrengimo kaina yra 466,84 Eur įskaitant PVM, kompozitinės plokštės įrengimo bendra kaina – 687,40 įskaitant PVM, o sijinės – 541,91 Eur. įskaitant PVM (29 pav.). Palyginus šių konstrukcijų įrengimo kainas nustatyta, jog brangiausia yra kompozitinė tilto perdanga, o pigiausia plokštinė perdanga. Išplėstinių skaičiavimų suvestinės pateiktos priede.



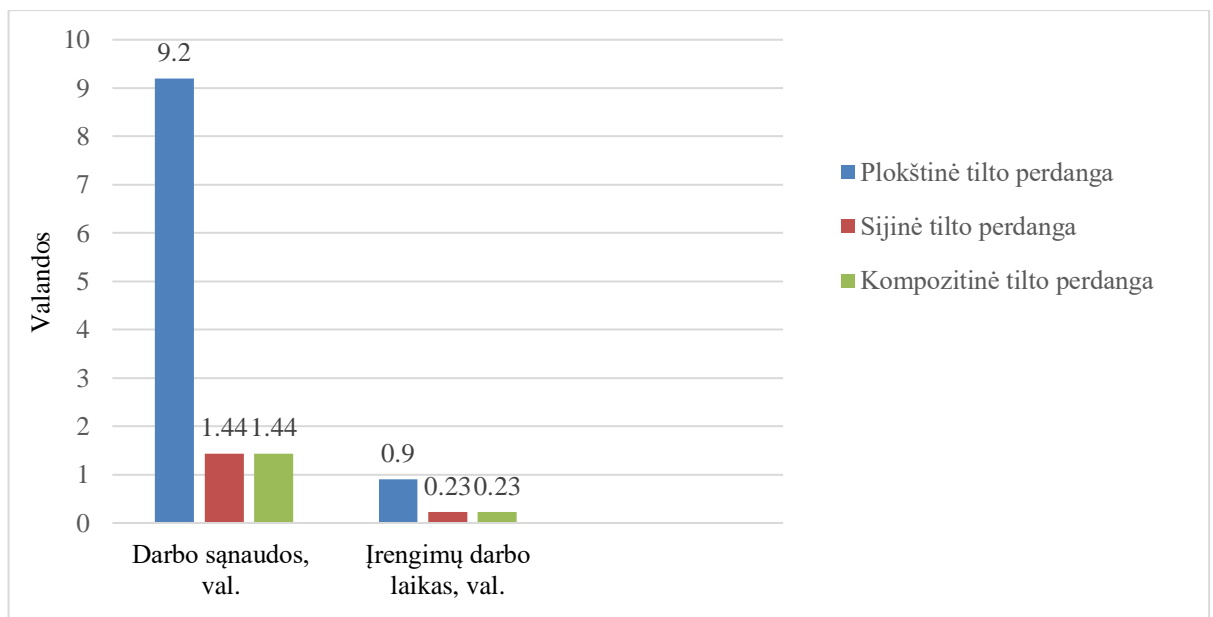
29 pav. Konstrukcijų kainos palyginimas

30 paveiksle pateikta skirtingų perdangų kainos sudedamos dalys. Kaip matyti iš grafikų daugiausiai darbo sąnaudų reikalauja plokštinės tilto perdangos įrengimas, tačiau lyginant medžiagų kainas, ji yra pigiausia. Kadangi sijinė ir kompozitinė perdanga priskiriama prie surenkamųjų, jų įrengimo darbo sąnaudos atitinkamai yra mažesnės. Tačiau patys gaminiai yra brangūs. Įrengimų kainos yra labai panašios.



30 pav. Konstrukcijų kainos sudedamųjų dalių palyginimas

31 paveiksle pateikiami tilto perdangų plokščių darbo ir įrengimų darbo laiko palyginimas.



31 pav. Tilto perdangų darbo ir įrengimų darbo laiko sąnaudų palyginimas, val.

3. Daugiakriteris vertinimas

3.1 Daugiakriterio vertinimo metodai ir modeliai

Daugelyje ūkinės ir ekonominės veiklos sektorių yra siekiama strateginių, techninių, ekonominių, kokybinių, socialinių ir kitų tikslų, kurie yra išreiškiami kokybiniais ir kiekybiniais vertinimo kriterijais, apibūdinančiais galimus alternatyvius sprendimus, esamą aplinkos situaciją, suinteresuotų grupių galimybes ir tikslus. Siekiant apibrėžti, pagrįsti bei pasiekti šiuos tikslus, yra taikomi daugiakriterinės analizės metodai [19]. Šie metodai plačiai taikomi ir statybos srityje.

Literatūroje dažnai vartojamas abi sąvokos daugiakriteris ir daugiatikslis, tai yra sinonimai, apibūdinantys daugiatikslų sprendimų priėmimo metodus [17].

Daugiakriteriai sprendimų metodai (angl. *Multiple Criteria Decision Making* –MCDM) yra viena iš sprendimų priėmimo teorijos šakų [17].

Daugiakriterio vertinimo modeliai, atsižvelgdami į daugelį tikslų, padeda priimti geriausius sprendimus. Išskiriami tokie pagrindiniai daugiakriterio vertinimo modelių komponentai:

1. Tikslų ir atitinkamų rodiklių sistemos sudarymas, bei jų reikšmingumo nustatymas.
2. Atsakų matricos sudarymas ir normalizavimas, naudojant daugiakriterinio sprendimų priėmimo metodus (MCDM).
3. Rezultatų analizavimas ir sprendimų priėmimas [18].

3.2 Daugiakriteriai vertinimo metodai

Spręsti daugiatiksliams uždaviniams yra sukurta nemažai metodų – nuo ganėtinai paprastų, kuriems reikia mažai informacijos ir darbo sąnaudų, iki sudėtingų, kurie pagrįsti matematiniu programavimu, ir galinčių įvertinti papildomą kiekvieno rodiklio informaciją bei asmenų, priimančių sprendimą, prioritetus [17]. Toliau tikslinga nusakyti metodų klasifikavimo ypatumus.

Geriausiam sprendimui rasti yra taikomi diskrečiojo optimizavimo metodai, daugiamačių atstumų matavimu paremti metodai (SAW, TOPSIS, AHP, ir kt.) [18]. Pasak autorių kolektyvo R. Tamašiūnienė ir kt. metodus, kurie yra naudojami sprendimų paieškai, galima skirstyti taip:

1. Paprastieji metodai (geometrinis vidurkis, rodiklių reikšmių ir svorių sandaugų suma (SAW) bei vienetų suma);
2. Sudėtingieji metodai (TOPSIS, ELECTRE ir kiti.) [30].

3 lentelė. Daugiakriterių sprendimų metodų SAW ir TOPSIS palyginimas

Metodai	Kriterijai			
	Rezultatų pastovumas	Darbo sąnaudos	Suprantamumas	Kitos savybės
SAW	pastovūs	nedidelės	paprastas	Išrenka idealią alternatyvą
TOPSIS	kintantys	nedidelės	paprastas	Įvertina rodiklių kintamumą

Metodai SAW (angl. *Simple Additive Wehging*) ir TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yra pagrįsti kiekybiniu matavimu. Jų pagrindas - aksiomų sistema. Alternatyvų naudingumo funkcija yra išreiškiama rodiklių reikšmingumo koeficientais ir vienkartinėmis naudingumo funkcijomis. Dažnai yra naudojama adityvioji naudingumo funkcijos forma, o gauta naudingumo funkcija įgalina įvertinti bet kokias alternatyvas [19].

3.3 Daugiakriteris skaičiavimas SAW metodu

SAW metodas yra vienas paprasčiausių ir plačiausiai naudojamų. Šio metodo įvesties duomenys yra sprendimų matrica ir rodiklių reikšmingumo reikšmės. Naudojant šį metodą pirmiausiai sprendimų matrica (1.1) yra normalizuojama, o tada kiekvienas normalizuotos matricos narys dauginamas iš jo reikšmingumo reikšmės ir sudedamas su kitais eilutės nariais [20].

$$P = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Reikšmingo reikšmės būtinai turi tenkinti sąlygą (1.2):

$$\sum_{j=1}^n q_j^* = 1 \quad (1.2)$$

Matricos P nariai, kuriuos reikia maksimalizuoti, skaičiuojami pagal 1.3 formulę, o kuriuos reikia minimalizuoti skaičiuojami pagal 1.4 formulę :

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}, \quad (1.3)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}, \quad (1.4)$$

Paskutiniame veiksmo normalizuotos matricos nariai dauginami iš atitinkamų reikšmingumo reikšmių ir gautos reikšmės sumuojamos (1.5 formulė). Racionaliausias variantas turės didžiausią sumą.

$$A = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^n q_j^* \bar{x}_{ij} \right\}. \quad (1.5)$$

Iš ankstesniuose skyriuose surinktų ir apdorotų duomenų, naudojant SAW metodą, skirtingų tipų tiltų perdangų palyginimas atliekamas pagal mechanines ir ekonomines savybes. Toliau bus atliekami 3 daugiakriteriniai skaičiavimai, norint išsiaiškinti, kuris perdangos variantas yra racionaliausias. Skaičiavime bus naudojami 7 palyginamieji rodikliai: 6 iš jų gaut iš antrame skyriuje atliktų analizių, o 1 – atlikus specialistų apklausą. Pirmajame tyrime atliekamas tyrimas su visais 7 palyginamaisiais rodikliais, suteikiant jiems vienodus reikšmingumo koeficientus. Antrajame tyrime – eksploatacijos vertinimo palyginamojo rodiklio reikšmės visiems perdangų tipams yra suvienodinamos (1-ame tyrime šio rodiklio vertės (balais) buvo: plokštinei perdangai –2, sijinei perdangai – 4, kompozitinei perdangai – 7). Trečiame tyrime atliekamas tyrimas, iškėlus prielaidą, kad vieno iš rodiklių reikšmingumo koeficientui suteikus didesnes reikšmes nei kitiems reikšmingumo koeficientams, tai pakeistų ankstesniuose dviejuose vertinimuose gautų prioritetų eilučių tvarką.

Skaičiavimų palyginamieji rodikliai:

- Įrengimo kaina – šiuo konkrečiu atveju 5 m² tilto perdangos įrengimo vertė.
- Darbo sąnaudos – žmogaus darbo valandų, reikalingų įrengti/sumontuoti reikalingas perdangos konstrukcijas.
- Įrengimo sąnaudos – įrengimo darbo valandų, reikalingų įrengti/sumontuoti reikalingas perdangos konstrukcijas.
- Skaičiuojamasis konstrukcijos atsargos koeficientas – apibūdina, ar konstrukcija suprojektuota nepereikvojant medžiagų.
- Atramų skaičius – parametras, kuris įvertina ne tik perdangos įrengimo technologiją, bet ir viso tilto įrengimo sudėtingumą ir kainą.
- Eksploatacijos sudėtingumas – balais nuo 1 (paprasčiausia eksploatacija) iki 10 (sudėtinga eksploatacija) įvertinta, kuris tiltas turi daugiausiai bėdų eksploatacijos metu. Kadangi tikslių tyrimų šioje srityje rasti nepavyko, buvo atlikta specialistų, kurie dirba šioje srityje apklausa.

Specialistų apklausos anketa pateikta 2 priede, o apklausos duomenys 4 lent.

4 lentelė. Specialistų apklausos duomenys

Eil. Nr.	Sijinės perdangos eksploatacijos sudėtingumas, balais	Plokštinės perdangos eksploatacijos sudėtingumas, balais	Kompozitinės perdangos eksploatacijos sudėtingumas, balais
Specialistas 1	4	3	8
Specialistas 2	5	1	8
Specialistas 3	4	4	7
Specialistas 4	3	1	5
Specialistas 5	4	2	6
Specialistas 6	6	5	6
Specialistas 7	5	3	8
Specialistas 8	5	1	7
Specialistas 9	3	2	6
Specialistas 10	4	2	5
Specialistas 11	5	1	7
Specialistas 12	2	3	8
Specialistas 13	4	2	8
Specialistas 14	6	1	4
Specialistas 15	5	2	7
Specialistas 16	2	2	8
Specialistas 17	1	3	7

4 lentelės tęsinys

Specialistas 18	3	1	5
Specialistas 19	4	2	7
Specialistas 20	3	1	8
Įvertinimų vidurkiai	3,9	2,1	6,8

5 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, žm. val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas (pliene)	Atramų skaičius, vnt	Ekspluatacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	466,84	9,2	0,9	25,8	4	2
Sijinė perdanga	541,91	1,44	0,23	10	2	4
Kompozitinė perdanga	687,4	1,44	0,23	63,3	4	7
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklio geriausia reikšmė	466,840	1,440	0,23	10	2	2

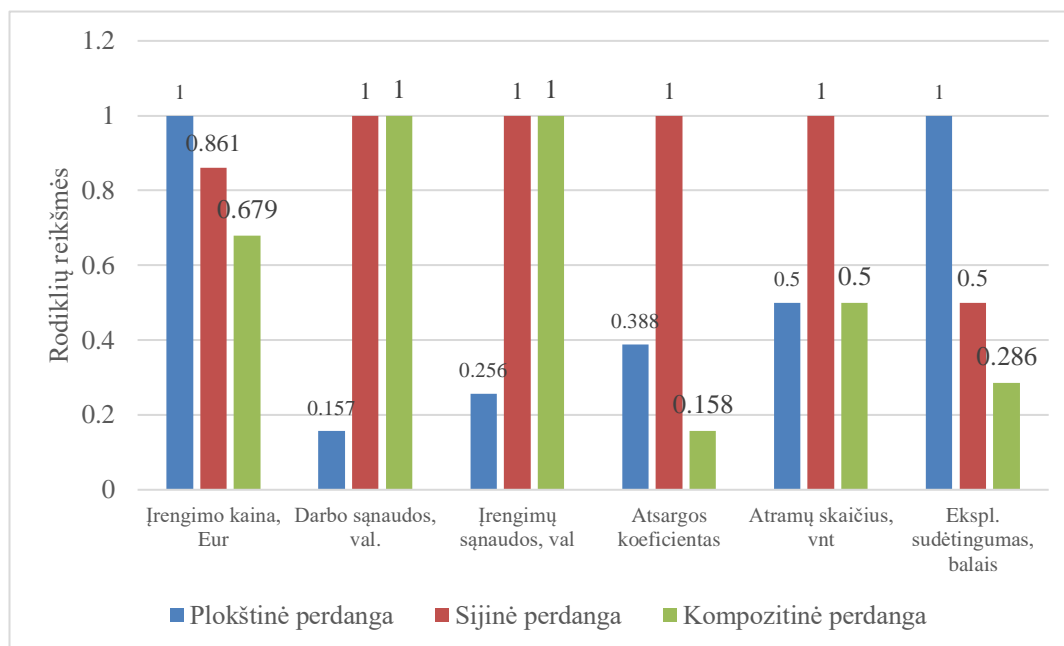
Kadangi visi nariai yra minimizuojami, todėl yra naudojama (1.4) formulė. Pirmojo skaičiavimo sprendinių priėmimo matrica pateikta 5 lentelėje.

Rodiklių reikšmingumo koeficientas q_j visiems rodikliams yra parenkamas vienodas – $1/6=0,167$.

Pirmojo skaičiavimo normalizuota matrica pateikta 6 lentelėje ir 32 paveikslėlyje.

6 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Ekspluatacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	1,000	0,157	0,256	0,388	0,500	1,000
Sijinė perdanga	0,861	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500
Kompozitinė perdanga	0,679	1,000	1,000	0,158	0,500	0,286
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumai, q_j	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167



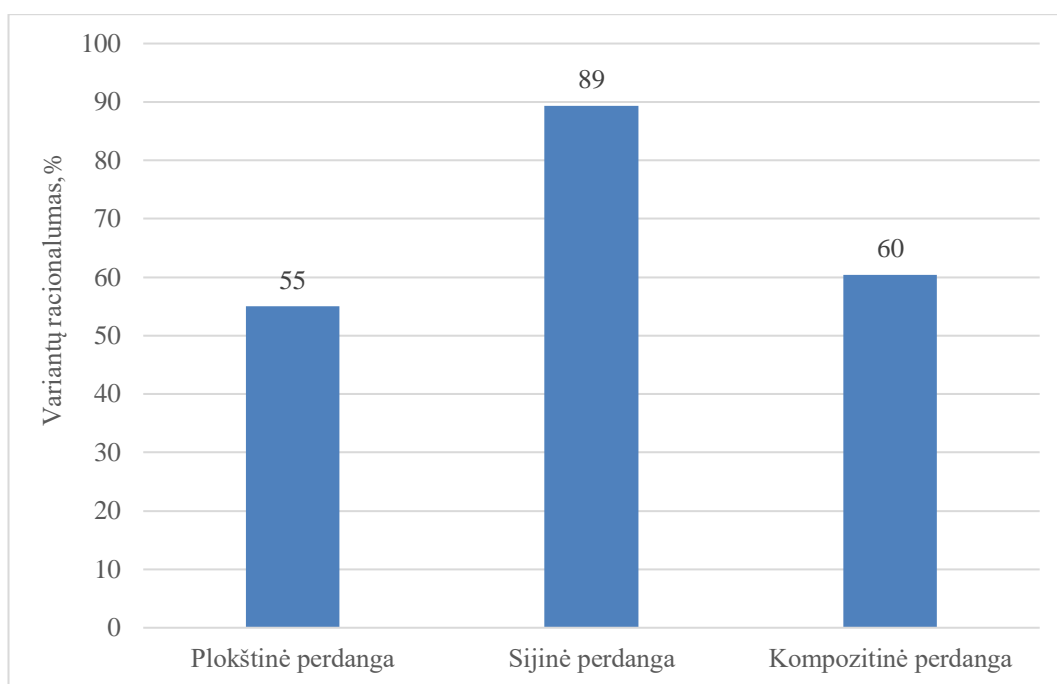
32 pav. Normalizuotos matricos reikšmės, kai vertinami visi palyginamieji parametrai

Sudarius normalizuotą matricą, reikia apskaičiuoti reikšmių matricas pagal (1.5) formulę. Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotos matricos nariai dauginami iš jų reikšmingumų ir po to susumuojami. Gauti rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Pirmojo daugiakriterio vertinimo reikšmių matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksploatacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,250	0,039	0,064	0,097	0,083	0,167	0,550	3
Sijinė perdanga	0,215	0,250	0,250	0,250	0,167	0,083	0,894	1
Kompozitinė perdanga	0,170	0,250	0,250	0,039	0,083	0,048	0,604	2
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		

Atlikus pirmąją daugiakriterinę analizę pagal SAW metodą, nustatyta, kad geriausia alternatyva būtų sijinė perdanga (33 pav.). Plokštinė ir kompozitinė pagal racionalumą yra panašios, tačiau apie 29-34% mažiau racionalios lyginant su sijine perdanga.



33 pav. Pirmojo daugiakriterio vertinimo rodiklių vertės procentine išraiška

Norint patvirtinti, kad sijinės perdangos tipas yra racionaliausias, atliksime pakartotinę analizę SAW metodu, suvienodinę eksploatacijos balus, kadangi tai yra sąlyginis kriterijus, kurį vertina šios srities specialistai, o mokslinių darbų tokia tema rasti nepavyko.

Rodiklių reikšmingumo koeficientas paliekamas toks pat kaip ir pirmojoje analizėje - $1/6 = 0,167$.

Pakartotinės analizės atveju sprendimų priėmimo matrica, normalizuota matrica ir reikšmių matrica atitinkamai pateiktos 8, 9 ir 10 lentelėse.

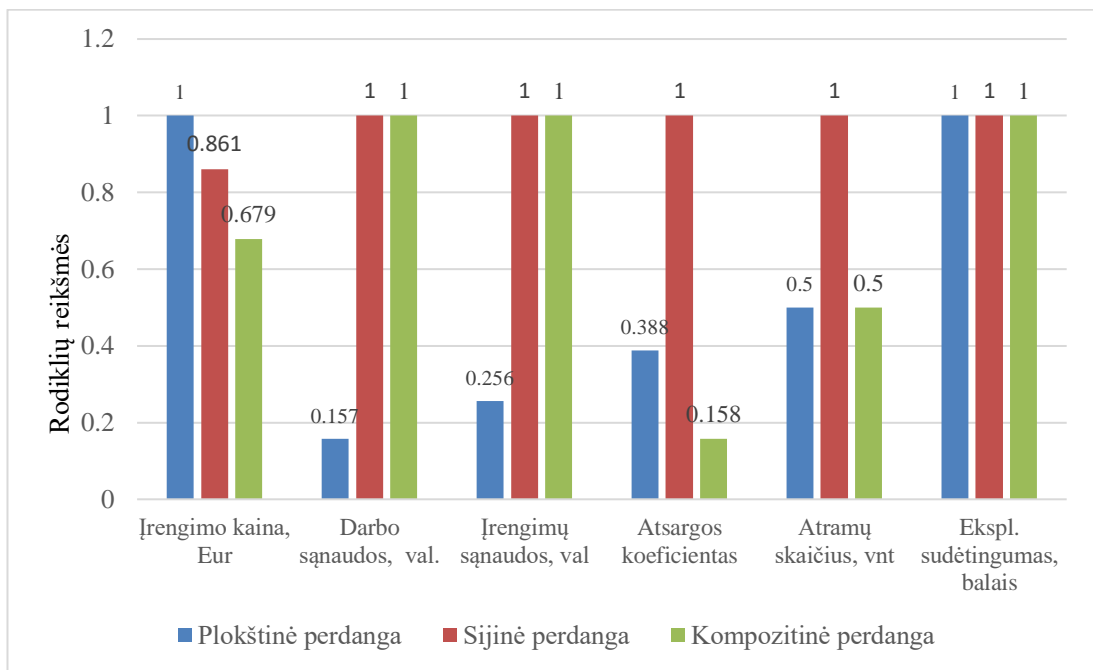
8 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, žm. val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas (pliene)	Atramų skaičius, vnt	Eksploatacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	466,84	9,2	0,9	25,8	4	7
Sijinė perdanga	541,91	1,44	0,23	10	2	7
Kompozitinė perdanga	687,4	1,44	0,23	63,3	4	7
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklio geriausia reikšmė	466,840	1,440	0,23	10	2	7

Antrojo skaičiavimo normalizuota matrica pateikta 9 lentelėje ir 34 paveikslėlyje.

9 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, žm. val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksploatacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	1,000	0,157	0,256	0,388	0,5	1,000
Sijinė perdanga	0,861	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kompozitinė perdanga	0,679	1,000	1,000	0,158	0,5	1,000
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumai, q_j	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

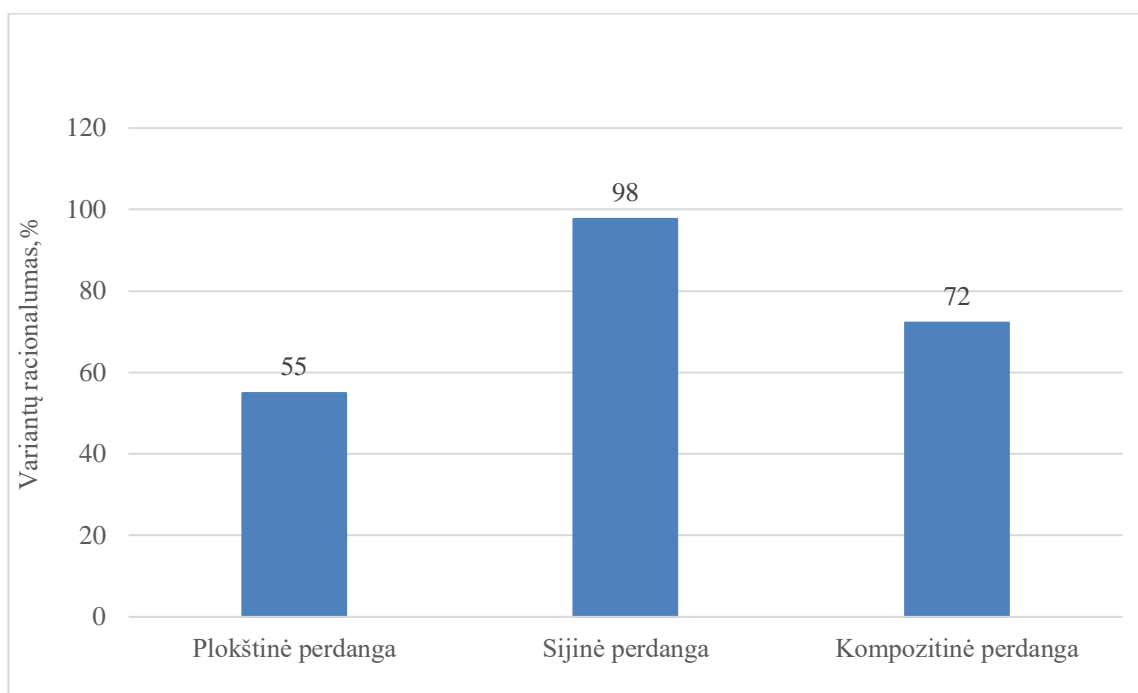


34 pav. Normalizuotos matricos reikšmės, kai eksploatacijos sudėtingumo parametro reikšmė suvienodinama visiems variantams

10 lentelė. Antrojo daugiakriterio vertinimo reikšmių matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksploatacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,167	0,026	0,043	0,065	0,083	0,167	0,55	3
Sijinė perdanga	0,144	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,977	1
Kompozitinė perdanga	0,113	0,167	0,167	0,026	0,083	0,167	0,723	2
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		

Naudojant SAW metodą, nustatyta, kad racionaliausia yra sijinė perdanga. Šiuo atveju ji 26-43% racionališnė už likusias (35 pav.). Lyginant su pirmąja analize, sijinės perdangos racionalumas padidėjo 9%, o skirtumas tarp antros ir trečios vietos padidėjo nuo 5% iki 17%.



35 pav. Antrojo daugiakriterio vertinimo rodiklių vertės procentine išraiška

Kadangi šiandieninėje kelių tiesimo arba statybos rinkoje dažniausiai konkursai yra laimimi pasiūlius mažiausią kainą, todėl bus atliekamas dar vienas tyrimas SAW metodu. Nustatysime ar įrengimo kainos rodiklių reikšmingumo koeficientui suteikus 1,5, 2, 2,5 ir 3 kartus didesnes reikšmes nei kitiems reikšmingumo koeficientams, pakeistų ankstesniuose dviejuose vertinimuose gautų prioritetų eilučių tvarką.

Šios analizės atveju sprendimų priėmimo matrica, normalizuota matrica ir reikšmių matricos pagal variantus atitinkamai pateiktos 11-16 lentelėse.

11 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo sprendimų priėmimo matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, žm. val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas (pliene)	Atramų skaičius, vnt	Ekspluatacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	466,84	9,2	0,9	25,8	4	2
Sijinė perdanga	541,91	1,44	0,23	10	2	4
Kompozitinė perdanga	687,4	1,44	0,23	63,3	4	7
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklio geriausia reikšmė	466,840	1,440	0,23	10	2	2

12 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, žm. val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksplotacijos sudėtingumas, balais
Plokštinė perdanga	1,000	0,157	0,256	0,388	0,5	1,000
Sijinė perdanga	0,861	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500
Kompozitinė perdanga	0,679	1,000	1,000	0,158	0,5	0,286
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumai, q_j	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
1 varianto rodiklių reikšmingumai, q_j	0,231	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154
2 varianto rodiklių reikšmingumai, q_j	0,286	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
3 varianto rodiklių reikšmingumai, q_j	0,333	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
4 varianto rodiklių reikšmingumai, q_j	0,375	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125

13 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,231) yra 1,5 karto didesnė už likusių rodiklių vertes

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksplotacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,231	0,024	0,039	0,060	0,077	0,154	0,585	3
Sijinė perdanga	0,199	0,154	0,154	0,154	0,154	0,077	0,891	1
Kompozitinė perdanga	0,157	0,154	0,154	0,024	0,077	0,044	0,610	2
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		

14 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,286) yra 2 kartus didesnė už likusių rodiklių vertes

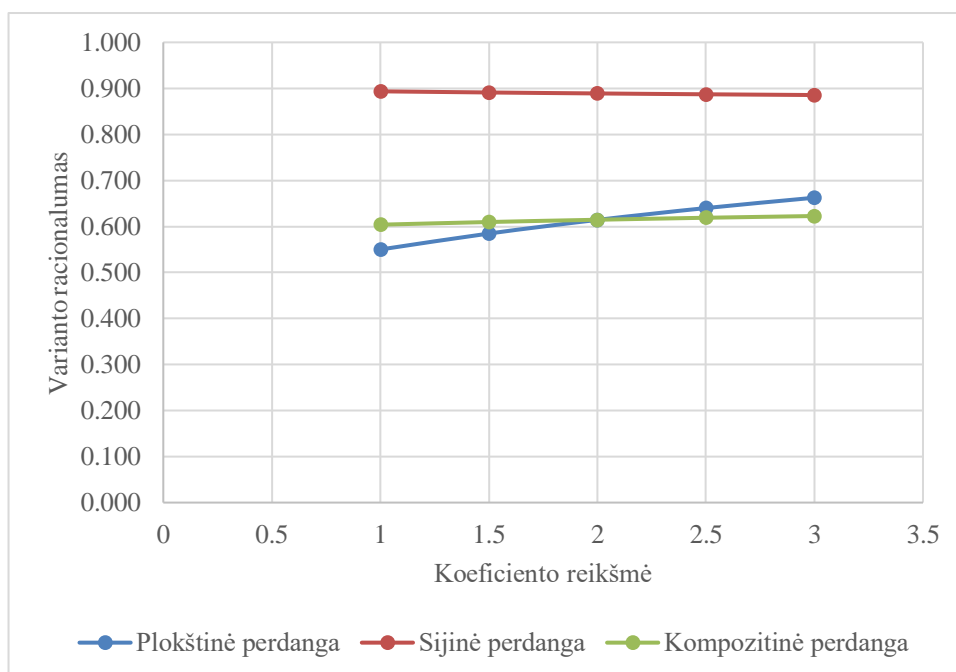
Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksplotacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,286	0,022	0,037	0,055	0,071	0,143	0,614	3
Sijinė perdanga	0,246	0,143	0,143	0,143	0,143	0,071	0,889	1
Kompozitinė perdanga	0,194	0,143	0,143	0,023	0,071	0,041	0,615	2
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		

15 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,333) yra 2,5 karto didesnė už likusių rodiklių vertes

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksplotacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,333	0,021	0,034	0,052	0,067	0,133	0,640	2
Sijinė perdanga	0,287	0,133	0,133	0,133	0,133	0,067	0,887	1
Kompozitinė perdanga	0,226	0,133	0,133	0,021	0,067	0,038	0,619	3
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		

16 lentelė. Trečiojo daugiakriterio vertinimo normalizuota matrica, kai įrengimo kainos reikšmingumo rodiklio vertė (0,375) yra 3 kartus didesnė už likusių rodiklių vertes

Perdangų tipų alternatyvos (variantai)	Rodikliai						Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
	Įrengimo kaina, Eur	Darbo sąnaudos, val.	Įrengimų sąnaudos, val.	Atsargos koeficientas	Atramų skaičius, vnt	Eksplotacijos sudėtingumas, balais		
Plokštinė perdanga	0,375	0,020	0,032	0,048	0,063	0,125	0,662	2
Sijinė perdanga	0,323	0,125	0,125	0,125	0,125	0,063	0,886	1
Kompozitinė perdanga	0,255	0,125	0,125	0,020	0,063	0,036	0,623	3
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.	min.		



36 pav. Perdangų racionalumo kitimas, keičiantis rodiklių reikšmingumo koeficientui

Iš 36 paveikslėlyje pateikto grafiko, galima daryti išvadą, kad suteikus įrengimo kainos rodiklių reikšmingumo koeficientui didesnis reikšmes nei kitų rodiklių, racionaliausia išlieka sijinė perdanga. Taip pat galima daryti išvadą, kad suteikus įrengimo kainos rodikliui reikšmingumo koeficientą daugiau už 2, plokštinė perdanga tampa racionali nei kompozitinė.

Išvados

1. Atlikus konstrukcinę perdangų analizę nustatyta, kad racionaliausiai suprojektuota yra kompozicinė perdanga, kurioje atsiranda 3,5 karto didesni įtempimai nei plokštinėje perdangoje ir 13,5 karto mažesnis maksimalus įlinkis, lyginant su sijine perdanga. Sekanti yra sijinė perdanga, o mažiausiai racionali (su per didele atsarga) - plokštinė perdanga, kurioje susidaro mažiausi maksimalūs įtempimai, lyginant su likusiomis.
2. Atlikus ekonominę analizę nustatyta, kad pigiausia yra plokštinė perdanga, kurios įrengimo kaina yra 13% mažesnė už sijinės perdangos kainą ir net 32% mažesnė už kompozitinės perdangos kainą.
3. Įvertinus ir susisteminus duomenis iš ankstesnių skyrių ir naudojant daugiakriterio vertinimo metodą SAW, buvo atlikti 3 vertinimai, kurie įrodė, kad racionaliausia yra sijinė perdanga. Pirmajame vertinime, kurio kriterijai buvo įrengimo kaina, darbo sąnaudos, įrengimų sąnaudos, atsargos koeficientas, atramų skaičius ir eksploatacijos sudėtingumas sijinė perdanga buvo 29-34% racionalesnė už likusias dvi.

Antrajame vertinime, kurio kriterijai buvo tokie patys, tačiau eksploatacijos sudėtingumo balai buvo suvienodinti visoms perdangoms, sijinė perdanga buvo 26% racionalesnė už kompozitinę ir 43% už plokštinę.

Trečiajame vertinime nustatyta, kad sijinė perdanga yra racionaliausia, kai įrengimo kainos rodiklių reikšmingumo koeficientui buvo suteikiamos 1.5, 2, 2.5 ar 3 kartus didesnės reikšmės nei kitų parametrų. Taip pat nustatyta, kad suteikus įrengimo kainos rodikliui reikšmingumo koeficientą daugiau už 2, plokštinė perdanga tampa racionalesnė nei kompozitinė.

Literatūros sąrašas

1. Gurskis V., Skominas R., Statybinių konstrukcijų patikimumo tyrimai. Metodiniai patarimai. Kaunas Ardiva. 2008.
2. Inaudi, D., Deblouis, R., Phipps, A. 2009. Structural health monitoring system for the new I-35W St Anthony Falls bridge. Zurich: 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure.
3. Yeo D., Gabbai R.D. 2011. Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization, Energy and Buildings 43 2028–2033.
4. Yepes V., Gonzalez-Vidosa F., Alcalá J, and Villalba P. 2012. CO₂- Optimization Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Based on a VNS-Threshold Acceptance Strategy, J. Comput. Civ. Eng. 26: 378-386.
5. Jokūbaitis V., Šaučiūvėnas G. Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas. Vilnius: Technika, 2012.
6. Kaminski M., Trapkov T. Experimental Behaviour of reinforced concrete Column Models Strengthened by CFRP Materials. Journal of Civil Engineering and Management. 2006, Vol. XII, No 2, 109–115
7. Kasemi, B., Muthalif, A. G., Rashid, M. M., Fathima, S. 2012. Fuzzy-PID controller for semi-active vibration control using magnetorheological fluid damper. Procedia Engineering, 41, 1221–1227.
8. Lietuvos Respublikos kelių įstatymas, 2 str. TAR, 2016, Nr. 2016-14734.
9. LR aplinkos ministro įsakymas „Dėl statybos techninio reglamento str. 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“ patvirtinimo“ 2016 m. spalio 27 d. Nr. D1-713, Vilnius.
10. LST EN 1991–2:2004. Eurokodas1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos.
11. Medeiros G. F., Kripka M. 2014. Optimization of reinforced concrete columns according to different environmental impact assessment parameters. Engineering Structures 59: 185–194.
12. Ming-Te Liang, Chin-Ming Lin, Chi-Jang Yeh. Application of multiple assessment items optimization method to determining the repair ranking of existing reinforced concrete bridge. Journal of the Chinese Institute of Engineers. 2011
13. Notkus A. J. Tiltų projektavimo pagrindai. – Vilnius: Technika, 2010. – 255 p.
14. Rimkus A., Meškėnas A., Tamulėnas V. (2014). Sumaniųjų tiltų taikymo perspektyvos Lietuvoje. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Mokslas – Lietuvos ateitis.
15. Stajano, F., Hout, N., Wassell, I. 2010. Smart bridges, smart tunnels: transforming wireless sensor networks from research prototypes into robust engineering infrastructure. Cambridge: Elsevier.
16. Zanon R., Demarco T. Simple and Effective Solution for Medium Span Railway Bridge Filler Beam Composite Decks – Review and European Experience. Proceedings of CTA Conference, 2015.
17. Antuchevičienė, J., Stasiulionis, A. Alternatyvų vertinimo būdai. Statybos verslo projektavimas ir investicijos. 2012. ISBN9786094572456.
18. Simanavičienė, R., Cibulskaitė, J. Sprendimo, gauto topsiis metodu, patikimumo statistinė analizė. Lietuvos statistikos darbai. 2015, 54 t., Nr. 1, 110–118 p.

19. Zavadskas, E., Kaklauskas, A., Banaitienė, N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. Vilnius. Technika – 2001. ISBN: 9986-05-441-9.
20. Simanavičienė, R. Kiekybinių daugiatislių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. Vilnius. Technika – 2011. ISBN 978-609-457-055-1. 21-23 p.
21. Lindišas, L., Vaišvila, Aleksandras, K., Žekevičius, R. Gelžbetoninių hidrotechninių statinių techninės būklės vertinimo sistema. Melioracijos įrenginių privatizavimo ir efektyvaus naudojimo sistema. – Kaunas. – ISBN 9986-545-97-8, 1999. – p.94-118.
22. Yavari M. S. Slab Frame Bridges: Structural Optimization Considering Investment Cost and Environmental Impacts. Licentiate Thesis, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2017.p.
23. Medeiros G. F., Kripka M. Optimization of reinforced concrete columns according to different environmental impact assessment parameters. *Engineering Structures* 59 2014: 185–194.
24. Yavari, M. S., Johansson, C., Pacoste, C., and Karoumi, R.. Analysis of Slab Frame Bridges for High-Speed Trains, Some Practical Modelling Aspects”, *International Journal of Railway Technology* 3. 2014 (2): 23-38.
25. Yavari, M. S., Du, G., Pacoste, C., and Karoumi, R. Environmental Impact Optimization of Reinforced Concrete Slab Frame Bridges. Submitted to the *Journal of Structure and Infrastructure Engineering*. 2016.
26. Raymond Ian Gilbert, Gianluca Ranzi. Time-Dependent Behaviour of Concrete Structure. London, New York. ISBN 9780415493840. 2011.
27. Krkoška. L, Moravčík. M. The analysis of thermal effect on concrete box girder bridge. *Procedia Engineering*. 2015.
28. Jokūbaitis V., Kamaitis Z. Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas ir remontas. Vilnius: Technika, 2000.
29. Tiltų ir viadukų statybos darbai, ST 8871063.05:2003. Vilnius, 2003.
30. Ingrida Trumpaitė, Skirmantas Šidlauskas, Rima Tamošiūnienė. Investicinių projektų efektyvumo daugiakriterinis vertinimas. Vilnius: Technika, 2006. T. 7, nr. 4, p. 203-212. ISSN 1648-0627.
31. Cheng, Y. M., Leu, S.S. Integrating data mining with KJ method to classify bridge construction defects. *Expert Systems with Applications*. 2011, p. 7143-7150.
32. Papé, Torill M, Melchers, Robert E. The effects of corrosion on 45-year-old pre-stressed concrete bridge beams. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2011 m. p.101-108. ISSN: 1573-2479.
33. Yin, Zi-Hong, Li, Yuan-Fu, Guo, Jian, Li, Yan. Integration Research and Design of the Bridge Maintenance Management System. *Procedia Engineering*. 2011. p. 5429-5434. ISSN: 1877-7058.
34. Odrobiňák, J ; Bujňák, J ; Žilka, J. Study on Short Span Deck Bridges with Encased Steel Beams. *Procedia Engineering*, 2012 m. p.333-338. ISSN: 1877-7058.
35. Kivilša, J., Kamaitis, Z., Steponavičius, A. Miesto transporto statiniai. Vilnius: Mokslas, 1981.

Informacijos šaltinių sąrašas

- 1.a. Fast and Easy Dimensioning of Filler Beam Bridges. Prieiga per internetą: < [https://www.researchgate.net/publication/308549466_Fast_and_easy_dimensioning of filler beam bridges](https://www.researchgate.net/publication/308549466_Fast_and_easy_dimensioning_of_filler_beam_bridges) > [žiūrėta 2019-03-23].
- 2.a Inovatyvi tiltų inžinerija: šiuolaikinės tendencijos. Structum. 2014 m. Prieiga per internetą: < <https://structum.lt/straipsnis/inovatyvi-tiltu-inzinerija-siuolaikines-tendencijos/> > [žiūrėta 2019-03-16].
- 3.a Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Prieiga per internetą < <http://lakd.lrv.lt/lt/atviri-duomenys> > [žiūrėta 2019-08-07].
- 4.a Kainodara statyboje. Prieiga per internetą: < <http://www.sistela.lt/Kainodara/statyboje> > [žiūrėta 2019-11-27].

1 priedas. Sąmatiniai skaičiavimai

**Skirtingų tipų tilto perdangų
ekonominis palyginimas
Skirtingų tipų tilto perdangų
ekonominis palyginimas
Sijinė tilto perdanga**

Lokalinė sąmata Nr. S003

Sudaryta 2019 m. spalio mėn. kainomis

Iš viso:

541,91 EUR

Eil. Nr.	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt.	Kiekis	Tiesioginės išlaidos (Eurais)			
				Darbas	Medžiagos	Mechanizmai	Suma
1	Sijinių perdangos plokščių, kurių plotas iki 5m ² , montavimas	vnt.	1	12,60	6,46	9,49	28,54
2	Surenkamos sijinės perdangos konstrukcijos	vnt.	1		348,00		348,00
Iš viso				12,60	354,46	9,49	376,54
Pagalbinių medžiagų vertė					3%		10,63
Papildomų mechanizmų vertė						3%	0,28
Papildomas darbo uždarbis				8%			1,01
Iš viso				13,60	365,10	9,77	388,47
Soc. draudimas				1,79%			0,24
Statinio statybos išlaidos				13,85	365,10	9,77	388,71
Statybvietės išlaidos				9%	9%	9%	34,98
Iš viso tiesioginės išlaidos				15,09	397,96	10,65	423,70
Pridėtinės išlaidos				20,9%			2,84
Pelnas				5%	5%	5%	21,33
Iš viso su netiesioginėmis išlaidomis				18,83	417,85	11,18	447,86
Įrengimai							
Bendra vertė be PVM				18,83	417,85	11,18	447,86
PVM				21%	21%	21%	94,05
Bendra vertė su PVM				22,78	505,60	13,53	541,91

Kompleksas: Skirtingų tipų tilto perdangų ekonominis palyginimas

Lokalinė sąmata Nr. S001

Objektas: Skirtingų tipų tilto perdangų ekonominis palyginimas

Sudaryta 2019 m. spalio mėn. kainomis

Žiniaraštis: Plokštinė tilto perdanga

Iš viso: **466,84
EUR**

Eil. Nr.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt.	Kiekis	Tiesioginės išlaidos (Eurais)			
					Darbas	Medžiagos	Mechanizmai	Suma
1	N6-194 (S10=1,15)	PERI "Multiflex" sistemos klojiniai besijinių perdangų betonavimui	100 m ²	0,05	30,22	8,64	2,80	41,67
2	N6-199 (S9=1,17; S10=1,15)	Perdangų armavimas, rišant armatūros atskirus strypus	t	0,15	49,50	102,38	1,68	153,57
3	N6-220 (S9=1,0425; S10=1,15)	Besijinių perdangų betonavimas, paduodant betoną siurbliu	m ³	1	19,59	77,56	8,26	105,41
Iš viso					99,32	188,58	12,74	300,64
Pagalbinių medžiagų vertė						3%		5,66
Papildomų mechanizmų vertė							3%	0,38
Papildomas darbo uždarbis					8%			7,95
Iš viso					107,26	194,24	13,13	314,62
Soc. draudimas					1,79%			1,92
Statinio statybos išlaidos					109,18	194,24	13,13	316,54
Statybvietės išlaidos					9%	9%	9%	28,49
Iš viso tiesioginės išlaidos					119,01	211,72	14,31	345,03
Pridėtinės išlaidos					20,9%			22,42
Pelnas					5%	5%	5%	18,37
Iš viso su netiesioginėmis išlaidomis					148,50	222,30	15,02	385,82
Įrengimai								
Bendra vertė be PVM					148,50	222,30	15,02	385,82
PVM					21%	21%	21%	81,02
Bendra vertė su PVM					179,69	268,98	18,17	466,84

Kompleksas: Skirtingų tipų tilto perdangų ekonominis palyginimas

Lokalinė sąmata Nr. S002

Objektas: Skirtingų tipų tilto perdangų ekonominis palyginimas

Sudaryta 2019 m. spalio mėn. kainomis

Žiniaraštis: Kompozitinė tilto perdanga

Iš viso: **687,4
EUR**

Eil. Nr.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt.	Kiekis	Tiesioginės išlaidos (Eurai)			
					Darbas	Medžiagos	Mechanizmai	Suma
1	N7-62 (S9=1,0425)	Kompozitinių plokščių, kurių plotas iki 5 m ² , montavimas	vnt.	1	12,60	6,46	9,49	28,54
2	PRN7-62	Kompozitinė perdangos plokštė	vnt.	1		450,00		450,00
Iš viso					12,60	456,46	9,49	478,54
Pagalbinių medžiagų vertė						3%		13,69
Papildomų mechanizmų vertė							3%	0,28
Papildomas darbo uždarbis					8%			1,01
Iš viso					13,60	470,16	9,77	493,53
Soc. draudimas					1,79%			0,24
Statinio statybos išlaidos					13,85	470,16	9,77	493,77
Statybvietės išlaidos					9%	9%	9%	44,44
Iš viso tiesioginės išlaidos					15,09	512,47	10,65	538,21
Pridėtinės išlaidos					20,9%			2,84
Pelnas					5%	5%	5%	27,05
Iš viso su netiesioginėmis išlaidomis					18,83	538,09	11,18	568,10
Įrengimai								
Bendra vertė be PVM					18,83	538,09	11,18	568,10
PVM					21%	21%	21%	119,30
Bendra vertė su PVM					22,78	651,09	13,53	687,40

2 priedas. Apklauso anketa

Internetiniame puslapyje apklausa.lt vykdytos apklauso „Tiltų perdangų eksploatacijos sudėtingumo vertinimas“ anketa.

Tiltų perdangų eksploatacijos sudėtingumo vertinimas

Ši apklausa skirta specialistams, dirbantiems tiltų eksploatacijos ir statybos srityse, siekiant išsiaiškinti 3 skirtingų perdangų tipų eksploatacijos sudėtingumą.

Ar dirbate su tiltų eksploatacija susijusį darbą?

- Taip
 Ne

[vertinkite balais nuo 1 iki 10 sijinės perdangos eksploatacijos sudėtingumą/problematiškumą (1 balas- labai lengva priežiūra, 10 balų - labai sudėtinga priežiūra).

[vertinkite balais nuo 1 iki 10 plokštinės perdangos eksploatacijos sudėtingumą/problematiškumą (1 balas- labai lengva priežiūra, 10 balų - labai sudėtinga priežiūra).

[vertinkite balais nuo 1 iki 10 kompozitinės perdangos eksploatacijos sudėtingumą/problematiškumą (1 balas- labai lengva priežiūra, 10 balų - labai sudėtinga priežiūra)

3 priedas. Mokslinis straipsnis



• SKIRTINGŲ KONSTRUKCIJŲ TILTŲ PERDANGŲ ANALIZĖ

Vilėniškis L., Kaupienė J., Vaičiulis D.

Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Raktiniai žodžiai: tiltas, sijinė perdanga, kompozitinė perdanga, plokštinė perdanga.

1. Įvadas

Tiltai nuo senų laikų yra vieni svarbiausių infrastruktūros objektų, padedantys sausumos keliais vykstantiems žmonėms įveikti vandens (ar sausumos) kliūtis. Skaičiuojama, kad Lietuvoje yra apie 4000 tiltų. Visi jie yra pastatyti labai skirtingu metu, turi skirtingus savininkus. 1506 tiltus prižiūri Lietuvos automobilių kelių direkcija, 523 prižiūri „Lietuvos geležinkeliai“, likusius (apie 2000) – miestų ir rajonų savivaldybės. Daugiausiai tiltų Lietuvoje buvo statoma XX a. 6-ajame ir 7-ajame dešimtmečiuose [1.1].

Tuo metu statytų tiltų skaičiuojamoji tarnavimo trukmė buvo 100 metų, tačiau dėl išaugusių transporto apkrovų ir srauto, šis laikotarpis yra žymiai trumpesnis. Todėl per praėjusį 10-metį buvo rekonstruota labai daug tuo metu pastatytų tiltų [1.1].

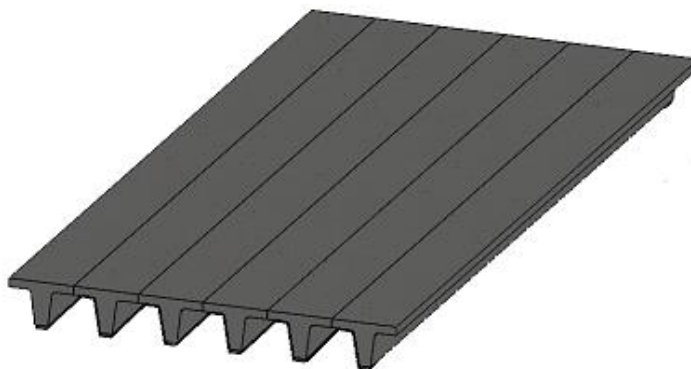
Darbo tikslas: nustatyti, kuris iš trijų skirtingų konstrukcijų tiltų yra racionaliausias konstrukciniu požiūriu.

2. Tiltų konstrukcijos

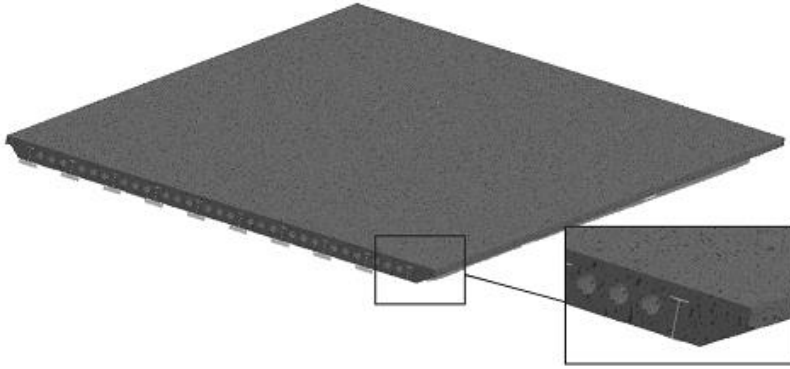
Šiame darbe tirsime trijų skirtingų konstrukcijų tiltus, kurie realiai pastatyti tame pačiame Lietuvos regione. Jų pagrindiniai rodikliai – labai panašūs, tačiau skiriasi perdangų tipai. Du tiltai yra pastatyti Lietuvoje ir vienas Lietuvos – Latvijos pasienyje. Pastarosios perdangos projektavimo ir techninės priežiūros darbus atliko latviai. Tiltų perdangų tipai pastatyti Lietuvoje – sijinė ir kompozitinė, o Lietuvos–Latvijos pasienyje – tiltas su plokštine perdanga (angl. *Slab Frame Bridge*).

Tiltai, turintys sijinę perdangą, yra labiausiai paplitę Lietuvoje (1 pav.). Jų privalumai yra nesudėtingas projektavimas, statyba ir eksploatacija. Kadangi sijos yra gaminamos specializuotose gamylose, jų kokybė yra labai gera ir tai užtikrina paprastesnę ir pigesnę tokių tiltų eksploataciją. Tokia perdanga nėra jautri atramų sėdimui bei temperatūrinėms deformacijoms, tačiau lyginant su rėminėmis perdangomis, esant tokioms pačioms apkrovoms, sijinėse perdangose atsiranda daug didesnės įrašos [1].

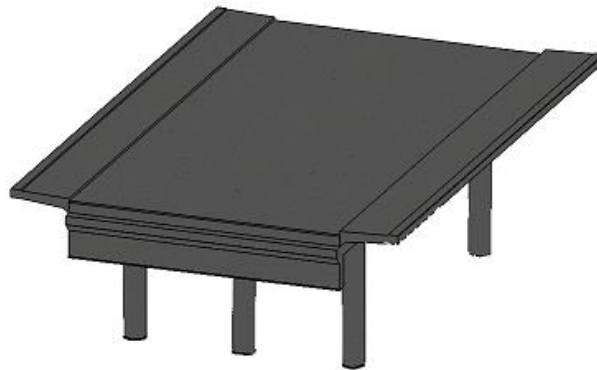
Kompozitinė perdanga (angl. *Filler Beam Deck*) sudaryta iš valcuotų plieninių profilių, kurie glaudžiai išdėstyti skerspjūvyje išilgine kryptimi, papildomo armavimo plieninės armatūros ir betono, apjungiančio šias dalis į visumą (2 pav.). Plieninės sijos „dirba“ kartu su betonu ir perima apkrovas išilgine tilto perdangos kryptimi, o plieninė armatūra perima apkrovas skersine kryptimi [2]. Priklausomai nuo tilto paskirties (geležinkelių, automobilių ar pėsčiųjų) ir apkrovų gali būti paliekamas tuštumos skerspjūvyje, siekiant išlengvinti perdangą. Šių perdangų privalumai yra lengva ir greitai įrengiama konstrukcija, taip pat didelė keliamoji galia, kas užtikrina, kad šio tipo perdangų tiltai būtų efektyvus sprendimas kelių ir ypač geležinkelių statyboje [4].



1 pav. Sijinės perdangos modelis



2 pav. Kompozitinės perdangos plokštės modelis su detalizuotu HEB sijos ir tuštumų vaizdu



3 pav. Plokštinės perdangos modelis

Latvijoje ir Skandinavijos šalyse labai plačiai naudojami plokštinių perdangų tiltai. Šių tiltų privalumai yra paprastas dizainas, greita statyba, paprasti sujungimo mazgai, nereikalingos deformacinės siūlės ir lengva priežiūra (3 pav.). Dažniausiai tokių tiltų ilgis neviršija 25 m. Dėl nedidelio ilgio ir sąlyginai nedidelio bendro reikiamo betono kiekio, tokie tiltai yra betonuojami vienu kartu, išvengiant betonavimo sandūros siūlių. Švedijos transporto administracijos duomenų bazės duomenimis, plokščių rėmų tiltai sudaro beveik 46 % visų tiltų Švedijoje [4, 5].

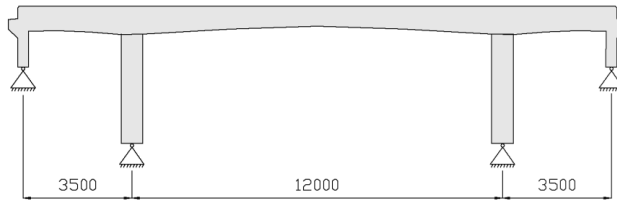
3. Apkrovų poveikiai perdangoms

Tam, kad būtų galima ištirti, kuris perdangos tipas yra racionaliausias, visi trys tiltai buvo sumodeliuoti kompiuterine erdvinio modeliavimo programa „SOLIDWORKS“. Pasinaudojus jos priedu „SOLIDWORKS Simulation“ atlikta statinė modelių analizė baigtinių elementų metodu. Visos trys tiltų perdangos buvo modeliuojamos programoje sukuriant vienalytę atstojamąją medžiagą, kurios parametrai būtų kaip įmanoma artimesni gelžbetonio savybėms: gniuždomasis stipris $f_c = 30$ MPa; tempiamasis stipris $f_t = 2,9$ MPa; tamprumo modulis $E_c = 33$ MPa; Puasono koeficientas $\nu = 0,2$; plieno takumo riba $f_{yk} = 500$ MPa; tankis $\rho = 2500$ kg/m³. Kompozitinės perdangos metalinių sijų savybės: tempiamasis stipris $f_t = 370$ MPa; tamprumo modulis $E_c = 210$ MPa; Puasono koeficientas $\nu = 0,28$; tankis $\rho = 7800$ kg/m³; plieno takumo riba $f_{yk} = 275$ MPa.

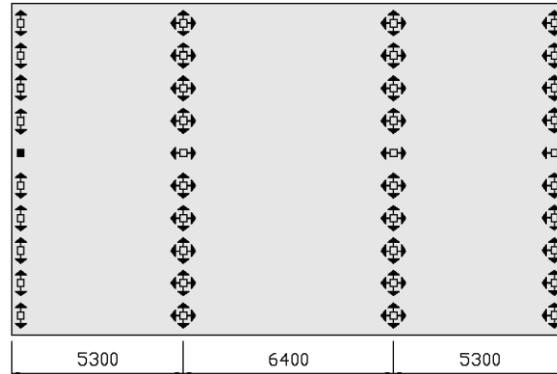
Sijinė perdanga turi dvi atramas, o kompozitinė ir plokštinė – keturias. Sijinės ir kompozitinės perdangos poveikiai atramoms perduodami per elastomerinius guolius, kurie įtvirtinti standžiai, o plokštinė perdanga guolių neturi, perdanga su atramomis sujungta standžiai, o ne šarnyriškai. Skaičiuojamosios statinių schemas pateiktos 4-6 pav.



4 pav. Sijinės perdangos skaičiuojamoji atramų schema



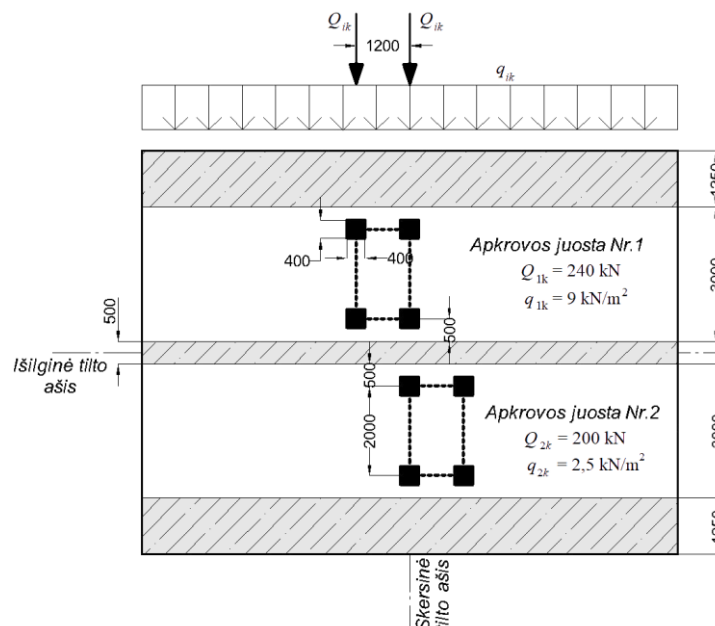
5 pav. Plokštinės perdangos skaičiuojamoji atramų schema



6 pav. Kompozitinės perdangos atramų schema žiūrint iš apačios: ■ – žymi nepaslankų guolį; \updownarrow ir \leftrightarrow – žymi viena kryptimi paslankius guolius; \leftrightarrow – žymi dviem kryptimis paslankius guolius

Tiltai važiuoja daugybė skirtingų transporto priemonių, kurių srautų intensyvumas gali būti labai skirtingas, todėl sumodeliuoti tikslų jų poveikį labai sudėtinga. Dėl šios priežasties yra taikomi abstraktūs apkrovų modeliai, kurių poveikiai, įvertinant tam tikrą tikimybę, būtų artimi realiems eismo poveikiams [2, 6]. Norint išsiaiškinti atsirandančias įražas, įlinkius ir kitus parametrus bei juos tarpusavyje palyginti, pritaikytas 1-asis apkrovos modelis: naudotos sutelktosios ir tolygiai išskirstytosios apkrovos, pakeičiančios didžiąją dalį sunkvežimių ir automobilių poveikių. Šis modelis skirtas bendrajai ir vietinei analizei. 1-ąjį automobilių apkrovos modelį (4 pav.) sudaro: vežimėliai TS (angl. *Tandem System*) – dviašės atremtos 4 ratais apkrovos, kurių vienos ašies svoris – $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$; tolygiai paskirstytosios apkrovos UDL (angl. *Uniformly Distributed Load*) $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$; tolygiai išskirstytosios apkrovos neuždengtame juostomis važiuojamosios dalies plote: $\alpha_{qr} \cdot q_{rk}$; čia α_{Qi} , α_{qi} ir α_{qr} – apkrovos koreguojantieji koeficientai. Kadangi tiltai pastatyti magistraliniuose keliuose, tai koeficientas $\alpha_{Qi} = 0,8$, o visų kitų dydžių $\alpha_{qi} = \alpha_{qr} = 1,0$ [6].

Kiekvienai perdangai yra nurodoma tokia pati apkrova, kurios dydžiai pateikti 1-oje lentelėje. Kadangi visi tiltai turi dvi važiuojamąsias juostas, todėl yra modeliuojamos dvi apkrovų juostos ir trys tarpjuostčiai. Vežimėlių apkrova modeliuojama ties tilto skersine ašimi.



4 pav. Automobilių kelių tiltų pagrindinis apkrovų modelis ir apkrovų juostų išdėstymas, atliekant skaičiavimus [2, 6]

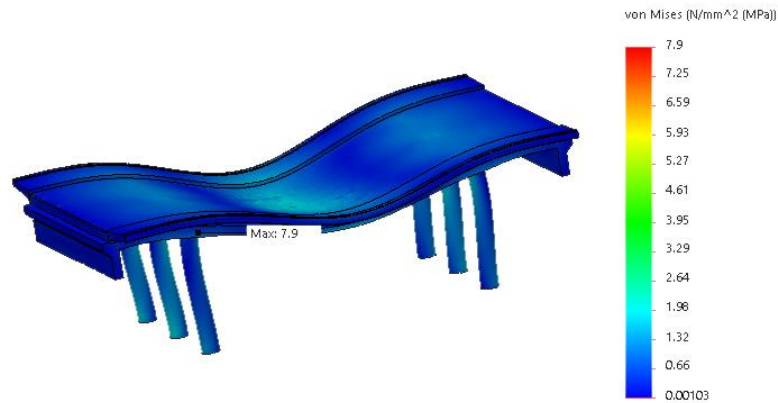
Apkrovų dydžiai

Apkrovos padėtis	Dviašio vežimėlio-tandemo TS ašies svoris Q_{ik} , kN	Tolygiai paskirstytoji apkrova UDL, q_{ik} arba q_{rk} , kN/mm ²
1 apkrovos juosta	$300 \times 0,8 = 240$	$9 \times 1,0 = 9,0$
2 apkrovos juosta	$200 \times 1,0 = 200$	$2,5 \times 1,0 = 2,5$
Neuždengtas juostomis važiuojamosios dalies likutis	0	$2,5 \times 1,0 = 2,5$

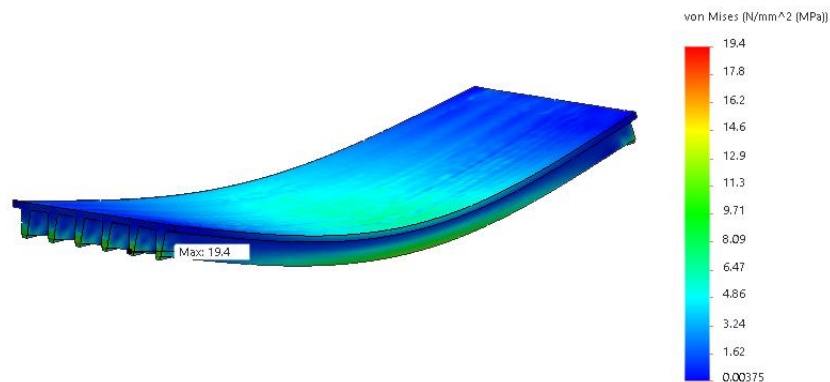
Skaičiavimų rezultatai, t. y. įtempių intensyvumo pasiskirstymas, pateikti 7-9 pav. Mažiausi įlinkiai ir mažiausi įtempiai atsiranda plokštinėje perdangoje (7 pav.). Didžiausios įtempių reikšmės atsiranda ties kolonos ir perdangos susijungimo vieta, o didžiausi įlinkiai ties vidurinio tarpatramio viduriu.

Tuo tarpu sijinėje perdangoje didžiausi įtempiai susidaro ties sijos atrėmimo vieta į guolį, o didžiausi įlinkiai ties tarpatramio viduriu (8 pav.).

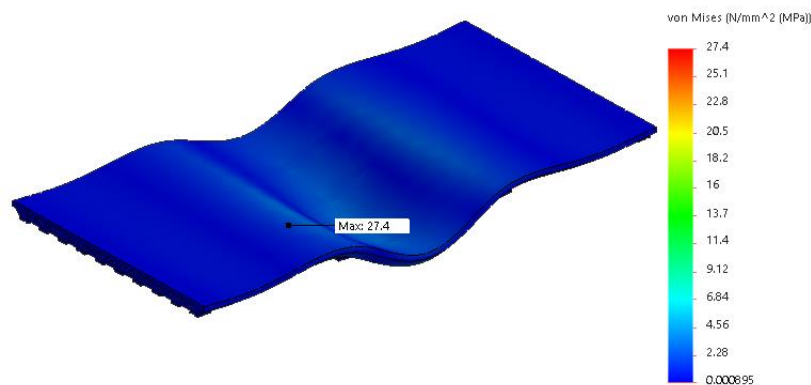
Iš visų trijų modelių patys didžiausi įtempiai atsiranda kompozitinės perdangos vidurinių atramų guolių sąlyčio taškuose su sijomis ir vidurinio tarpatramio metalinių sijų vidurio apatinėje dalyje (9 pav.). Didžiausios įlinkių reikšmės atsiranda taip pat ties viduriniu tarpatramiu, tačiau įlinkis yra mažas – 1,5 mm.



7 pav. Plokštinėje perdangoje veikiantys įtempiai



8 pav. Sijinėje perdangoje veikiantys įtempiai



9 pav. Kompozitinėje perdangoje veikiantys įtempiai

Visų trijų perdangų tipų palyginamieji duomenys, gauti atlikus skaičiavimus, pateikti 2-oje lentelėje.

2 lentelė

Perdangų įrašos ir įlinkiai

Eil. Nr.	Perdangos tipas	Didžiausi įtempimai pagal vonMises'o kriterijų, MPa	Ribinis modelio atsargos koeficientas		Įlinkiai, mm	Leistini įlinkiai, mm
			betone	pliene		
1	Sijinė, gelžbetonyje	19,4	1,16	25,8	17	25
2	Kompozitinė: plieninėse sijose gelžbetonyje	27,4 3,7	– 8,1	10 135	1,48	10
3	Plokštinė, gelžbetonyje	7,9	3,8	63,3	1,54	15

5. Išvados

1. Iš darbe nagrinėtų perdangų racionaliausiai parametrai parinkti yra kompozitinės perdangos. Skaičiavimai rodo, kad metalinėse sijose didžiausių įtempimų reikšmės siekia apie 10% sijų plieno takumo ribos, o gelžbetonyje atsirandantys įtempiai sudaro tik apie 0,1% gelžbetonio takumo ribos. Dėl perdangoje įrengtų tuštumų, joje atsiranda 3,5 karto didesni įtempiai lyginant su plokštine perdanga. Perdangų įlinkiai skiriasi daugiau nei 10 kartų, tačiau atsargos koeficientų dydžiai rodo, kad iki ribinių dydžių yra nemaža atsarga.
2. Mažiausiai racionali yra plokštinė perdanga, kurioje veikia mažiausios įrašos ir atsiranda mažiausi įlinkiai. Skaičiavimai rodo, kad perdangos konstrukcija yra parinkta su labai didele skaičiuojamąja atsarga. Dėl tokių gautų rezultatų galima daryti prielaidą, kad plokštinė perdanga būtų neracionali ir ekonominiu požiūriu.

Literatūra

3. Inovatyvi tiltų inžinerija: šiuolaikinės tendencijos. Structum. 2014 m. Prieiga per internetą: < <https://structum.lt/straipsnis/inovatyvi-tiltu-inzinerija-siuolaikines-tendencijos/> > [žiūrėta 2019-03-16].
- Notkus A. J.** Tiltų projektavimo pagrindai. – Vilnius: Technika, 2010. – 255 p. ISBN 978-9955-28-602-8.
- Zanon R. Demarco T.** Simple and Effective Solution for Medium Span Railway Bridge Filler Beam Composite Decks – Review and European Experience. Proceedings of CTA Conference, 2015.
- Yavari M. S.** Slab Frame Bridges: Structural Optimization Considering Investment Cost and Environmental Impacts. Licentiate Thesis, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2017. 42 p.
- Fast and Easy Dimensioning of Filler Beam Bridges. Prieiga per internetą: < https://www.researchgate.net/publication/308549466_Fast_and_easy_dimensioning_of_filler_beam_bridges > [žiūrėta 2019-03-23].
- LST EN 1991–2:2004. Eurokodas1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos.