



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Ernestas Urbanavičius

**LENGVOJO AUTOMOBILIO B – STATRAMSČIO STIPRUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Dr. Vytautas Dzerkelis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**LENGVOJO AUTOMOBILIO B – STATRAMSČIO STIPRUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Dr. Vytautas Dzerkelis

(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Paulius Griškevičius

(data)

Projektą atliko

(parašas) Ernestas Urbanavičius

(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Ernestas Urbanavičius

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Lengvojo automobilio B – statramsčio stiprumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ernesto Urbanavičiaus**, baigiamasis projektas tema „Lengvojo automobilio B – statramsčio stiprumo tyrimas“ 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
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta: Prof. dr. Artūras Keršys

2015 m. vasario mėn. 10 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Ernestas Urbanavičius*

1. Projekto tema: Lengvojo automobilio B – statramsčio stiprumo tyrimas.

Patvirtinta: 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Projekto tikslas:

Nustatyti automobilio B – statramsčio remonto metu suvirinamų siūlių išdėstymo įtaką jo konstrukcijos stiprumui.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

Apžvelgti automobilių kėbulų laikančiąsias konstrukcijas, jose naudojamas medžiagas bei sujungimo būdus. Išanalizuoti B – statramsčio konstrukciją sudarančius elementus, jų funkcijas ir remonto metodikas. Eksperimentinio bandymo metu nustatyti statramsčio konstrukcijoje naudojamų medžiagų mechanines charakteristikas ir suvirinimo siūlių įtaką statramsčio stiprumui. Sudaryti skaičiuojamąjį modelį ir gautus rezultatus palyginti su natūrinių bandymų rezultatais.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 10 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 20 d.

Vadovas: Vytautas Dzerkelis

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: Ernestas Urbanavičius

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Urbanavičius, Ernestas. Lengvojo automobilio B – statramsčio stiprumo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Vytautas Dzerkelis; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: kėbulas, laikančioji konstrukcija, B – statramstis, sujungimo būdai, remontas.

Kaunas, 2016. 54 p.

SANTRAUKA

Darbe apžvelgtos automobilių laikančiosios konstrukcijos bei jų sandara. Taip pat aprašytos automobilių laikančiosiose konstrukcijose naudojamos medžiagos ir sujungimo suvirinimo būdų tipai. Išanalizuota B – statramsčio konstrukcija, ji sudarantys elementai bei išardymo ir remonto metodikos.

Atlikti eksperimentiniai bandymai, nustatyti statramsčio konstrukcijoje naudojamų medžiagų mechaninėms charakteristikoms. Bandymams paruošti trys B – statramsčiai, vienas gamyklinis, o likusieji remontuoti remiantis automobilių kėbulo remonto specifiką. Atlikti eksperimentiniai B – statramsčių konstrukcijų lenkimo bandymai apkraunant statiškai. Išanalizuojami ir palyginami eksperimentinių bandymų metu gauti rezultatai.

Sudaryti skirtingi skaičiuojamieji statramsčių modeliai, atitinkantys realias konstrukcijas ir atlikti stipruminiai skaičiavimai. Visų trijų skaitinių modelių skaičiavimų rezultatai išanalizuojami ir palyginami tarpusavyje. Praktinio tyrimo metu gauti duomenys palyginami su rezultatais, gautais tiriant skaičiuojamąjį modelį ir padarytos išvados.

Urbanavičius, Ernestas. *Research Of Strength Of Light Vehicle B – pillar: Master's thesis* /supervisor assoc. dr. Vytautas Dzerkelis. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: body, supporting construction, B – pillar, joining techniques, renewal.

Kaunas, 2016. 54 p.

SUMMARY

This thesis reviews the types of vehicle body, its main elements, materials used in it, and joining techniques. This paper analyzes B – pillar constructions, its main elements and restoration methods.

Experimental tests have been conducted, to determine mechanical properties of different materials used in B – pillar. Three different B – pillars are prepared for an experiments, one construction left factory, and other two constructions have been renewed, according to methodology of vehicle body repair. Strength of a different B – pillars have been determined by experimental bending tests.

Three different computational models of a B – pillar structure developed in ANSYS Workbench are presented, with the imitation of weld joints that match the mechanical characteristics of a weld seam. Results obtained from three different computational models are analyzed and compared. The results from experimental tests are compared with results, form a computational models and conclusions are made.

Turinys

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	9
1.1. Laikančiųjų konstrukcijų tipai.....	9
1.2. Kėbuluose naudojamos medžiagos	12
1.3. B – statramsčio konstrukcija	16
1.4. Suvirinimo būdai, technologija	18
2. TYRIMŲ DALIS.....	23
2.1. Medžiagų mechaninių charakteristikų nustatymas.....	23
2.2. B – statramsčio remonto metodika. Gamintojo siūlomi būdai.....	27
2.3. Statramsčių paruošimas bandymams.....	30
2.4. Automobilio B – statramsčio konstrukcijos lenkimo, apkraunant statiškai, tyrimas	33
3. SKAITINIS MODELIAVIMAS	40
3.1. Automobilio B – statramsčio skaitinio modelio sudarymas.....	40
3.2. Skaitinio modelio rezultatų analizė	44
DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS	50
IŠVADOS	51
LITERATŪROS SĄRAŠAS	52

IVADAS

Automobilių pramonei vis sparčiau besivystant, didėja bendras automobilizacijos lygis, automobilių skaičius keliuose vis auga. Automobilių skaičiaus augimas sąlygoja tai, kad eismo įvykiai pasitaiko vis dažniau. Eismo įvykių metu automobilių kėbulai yra daugiau ar mažiau apgadinami. Todėl reikia skirti vis didesnę dėmesį transporto priemonių kėbulų remontui ir priežiūrai.

Automobilio kėbulo remontas yra ilgas ir sudėtingas procesas, kuris reikalauja daug specifinių žinių, kruopštumo bei tikslumo. Transporto priemonės kėbulo remonto kokybė smarkiai įtakoja ir jos pasyviają saugą, ypač, kai yra kalbama apie deformacinių zonų remontą. Todėl galioja griežti reikalavimai, neleidžiantys vienu ar kitu būdu atkurti pagrindinius automobilio laikančiosios konstrukcijos elementus. Tokie elementai gali būti tik keičiami laikantis gamintojo nustatytų normų. Neretai saugumo faktorius yra ignoruojamas, remontuojami kritinės būklės automobiliai arba remonto darbai yra atliekami nesilaikant reikalavimų. Taigi automobilio remonto kokybė bei remontuotų transporto priemonių eksploatavimas yra glaudžiai susijęs su žmonių gyvybėmis ir sveikata.

Darbo tikslas – nustatyti automobilio B – statramsčio remonto metu suvirinamų siūlių išdėstymo įtaką jo konstrukcijos stiprumui.

Uždaviniai:

- Išanalizuoti automobilių kėbulų laikančiąsias konstrukcijas, jose naudojamas medžiagas bei sujungimo būdus;
- Išanalizuoti B – statramsčio konstrukciją sudarančius elementus, jų funkcijas ir remonto metodikas;
- Eksperimento metu nustatyti statramsčio konstrukcijoje naudojamų medžiagų mechanines charakteristikas;
- Eksperimento metu nustatyti suvirinimo siūlių įtaką statramsčio stiprumui;
- Sudaryti ir išanalizuoti skaitinį modelį;
- Palyginti rezultatus, gautus analizuojant skaitinį modelį su praktinio tyrimo rezultatais.

Skaitiniai B – statramsčio modeliai sudaromi naudojant programinį paketą „*Catia V5*“. Statramsčių modeliai analizuojami naudojant programinį paketą „*ANSYS Workbench*“. Išvadose aptariami skaitinio modeliavimo ir eksperimentinių tyrimų rezultatai.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. Laikančiųjų konstrukcijų tipai

Transporto priemonės laikančioji konstrukcija į vieną visumą jungia atskirus agregatus bei sistemas, užtikrindama reikiamą jų tarpusavio padėtį įvairiomis darbo sąlygomis. Tokiu būdu transporto priemonės konstrukcija yra jos jungiamoji grandis. Laikančioji konstrukcija taip pat smarkiai įtakoja transporto priemonės vairuotojo bei keleivių saugumą ir stabilumą kelyje. Tokia automobilio konstrukcija privalo būti kiek įmanoma lengvesnė, bet kartu pakankamai standi ir patvari. Pagal savo pobūdį ir atliekamas funkcijas antžeminių transporto priemonių laikančiosios konstrukcijos skirstomos į dvi pagrindines grupes: rėmus ir laikančiuosius kėbulus [6].

Seniausias laikančiosios konstrukcijos tipas yra laikantysis rėmas. Tokio tipo laikančioji konstrukcija buvo naudojama beveik visose transporto priemonėse iki 1960-tųjų. Rėmas atlieka tik jungties tarp atskirų agregatų funkciją. Prie jo yra tvirtinami visi pakabos elementai, agregatai bei kėbulas, tačiau kėbulas praktiškai nepadidina transporto priemonės standumo. Laikantysis rėmas dažniausiai yra sudarytas iš dviejų išilginių sijų (lonžeronų) bei keleto skersinių sijų (skersių). Sijos dažniausiai yra atviro profilio U formos strypai. Skersinėms sijoms gali būti naudojami įvairaus tipo atviri ir uždari U formos, dvitėjiniai, apvalūs ar stačiakampio formos profiliai [1,6].

Lengvuosiuose automobiliuose yra naudojami periferiniai arba X – formos rėmai (1.1 pav.). Periferiniai rėmai yra praplatinti vidurinėje dalyje, nes priekyje bei gale reikia vietos ratams. Tokiu atveju sijos gali būti suvirintos iš kelių dalių ar būti ištisinės. X – formos rėmuose automobilis žeminamas, kaip jėginę konstrukciją panaudojant centrinę dalį, tačiau salone atsiranda masyvus tunelis [1].

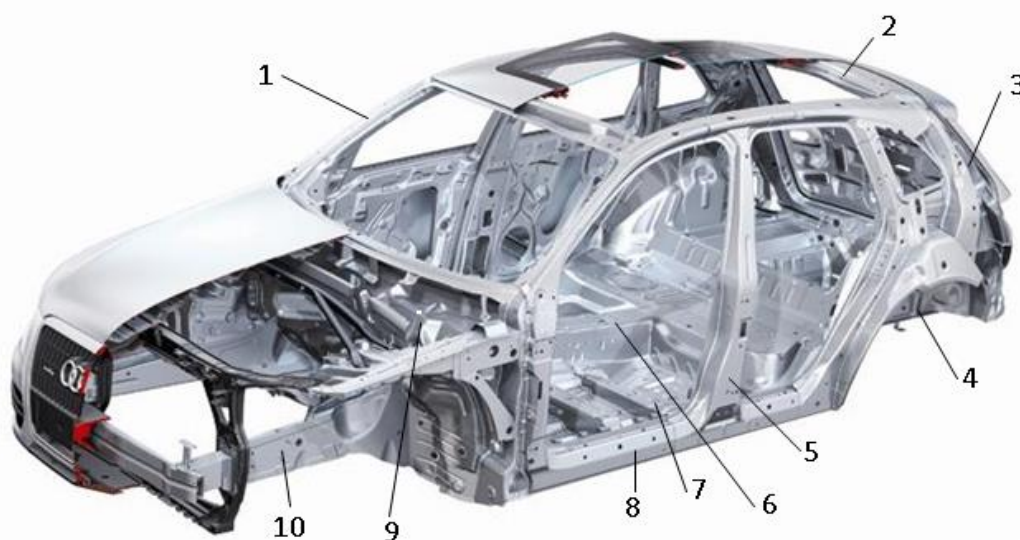


1.1 pav. Periferinis (a) ir X – formos (b) lengvojo automobilio rėmai [17, 18]

Pastaruosiu metu laikantieji rėmai yra naudojami visureigiuose, pikapuose bei daugelyje komercinių krovinių transporto priemonių. Kopėtinių rėmų gamybai yra naudojamos uždaro profilio sijos, kadangi jos padidina rėmo standumą susukimui, tačiau papildomai yra apkraunamos sijų jungimo vietos, kurias reikia papildomai sustiprinti. Dėl uždaro profilio sijų pritaikymo laikančiųjų rėmų gamyboje yra efektyviau panaudojamos medžiagos ir sumažėja rėmo masė. Šiuolaikiniuose

lengvuosiuose automobiliuose laikantieji rėmai nėra taikomi, nes jie yra sunkūs bei automobilio svorio centras atsiduria gana aukštai. Kiti faktoriai yra pakankamai mažas rėmo standumas sukimui, pasyvisis saugumas [8].

Laikantieji kėbulai (angl. *integral or unitary body structure*) naudojami kaip laikančiosios konstrukcijos beveik visuose šiuolaikiniuose ir nedideliuose komerciniuose automobiliuose. Toks kėbulas yra sudėtinga konstrukcija, kurios pagrindinė dalis yra saloną juosiantis karkasas. Visi karkaso elementai, pertvaros bei išorinės panelės yra pagamintos iš plonų plieno lakštų štapavimo būdu. Atskiri tokio kėbulo elementai yra sujungiami taškinio suvirinimo būdu, nors kai kurios konstrukcijos vietos gali būti kniedijamos arba suvirinamos lazeriniu būdu. Laikančiojo kėbulo pavyzdys bei jį sudarantys pagrindiniai elementai pavaizduoti 1.2 paveiksle [1].

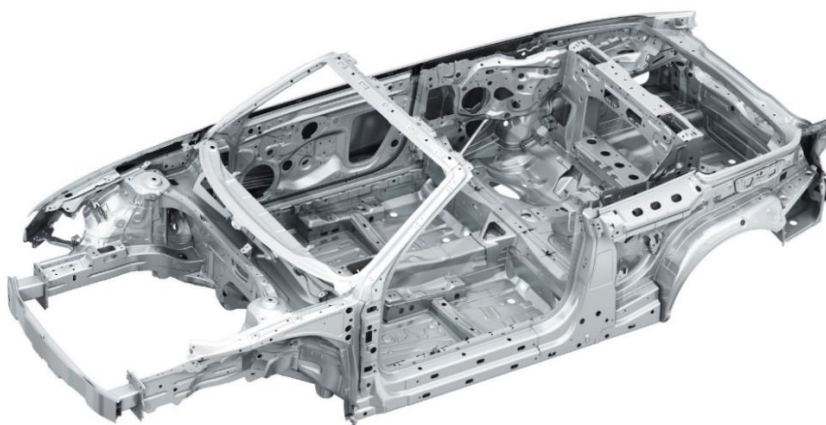


1.2 pav. Automobilio „Audi Q5“ kėbulas, bei jį sudarantys elementai [19]: 1 – Priekinis statramstis; 2 – stogo skersinis; 3 – galinis statramstis; 4 – galinis lonžeronas; 5 – centrinis statramstis; 6 – tunelis; 7 – dugno skersinis; 8 – slenkstis; 9 – priekinė sienelė; 10 – priekinis lonžeronas

Laikančiojo kėbulo konstrukcija leidžia gerai panaudoti konstrukcijai naudojamą medžiagą ir taip gerokai sumažinti transporto priemonės svorį, palyginus su kitomis kėbulo konstrukcijomis. Taip pat transporto priemonės kėbulas yra kompaktiškesnis išorėje ir erdvesnis viduje. Kitas svarbus dalykas yra tai, kad tokio tipo konstrukcija yra saugesnė dėl joje esančių deformacinių zonų. Šios zonos deformuojamos smūgio metu ir sugeria didžiąją dalį jo energijos [16].

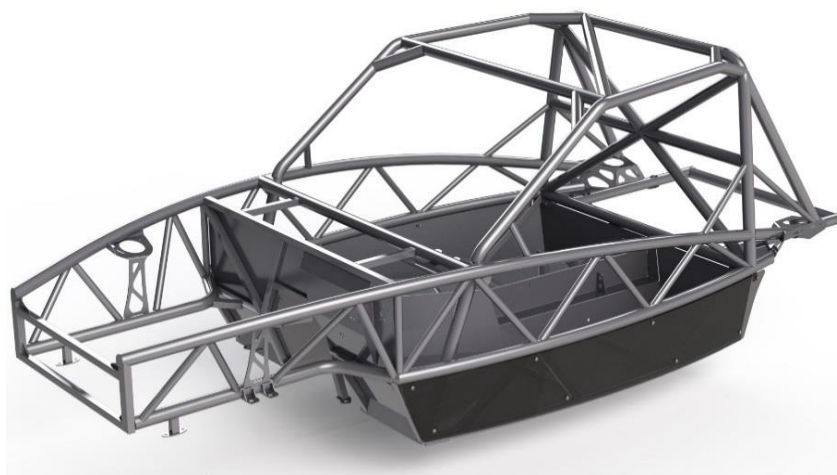
Laikantieji lengvųjų automobilių kėbulai labai standūs - įlinkis bazės ribose neviršija 1mm, standumas susukimui - 610 KNm/rad eilės. Šiuolaikinių automobilių laikančiųjų kėbulų konstrukcija yra artimesnė karkasinei, kadangi saugumo reikalavimai verčia stiprinti saloną juosiančią konstrukciją. Standinant kėbulą yra naudojami plokštės tipo elementai: dugnas, stogas, variklio sienelė bei įklijuojami priekinis ir galinis stiklai. Panelių tipo elementai yra štapuojami kreivi, prireikus, standinami įmušimais, naudojami flanšai, kurie sujungia paneles tarpusavyje ir didina bendrą kėbulo standumą.

Kabrioletų tipo automobiliuose yra stiprinamas dugnas – jis tampa pagrindiniu laikančiuoju konstrukcijos elementu. Laikančiojo dugno konstrukcija paprastai yra sustiprinama standumo briaunomis ir giliais įmušimais, naudojama schema panaši į rėmą, suvirintą su dugnu. Tipiškai laikančiųjų grindų pagrindo standumas yra užtikrinamas slenksčiais, sujungtais su horizontalioje plokštumoje išlenktomis išilginėmis sijomis. Galinėje dalyje slenksčiai yra standinami sujungiant juos su galinių durų stovais, išorinėmis panelėmis ir ratų gaubtais. Tokio tipo automobilio laikančiojo dugno konstrukcija pavaizduota 1.3 paveiksle [6].



1.3 pav. „Audi A5“ kabrioletų laikančiojo dugno konstrukcija [20]

Verta paminėti ir netradicines laikančiąsias konstrukcijas, kurios nėra taip plačiai taikomos automobilių gamyboje, tačiau turi savo privalumų lyginant su tradicinėmis konstrukcijomis. Viena iš netradicinių laikančiųjų konstrukcijų yra erdvinis rėmas, plačiausiai taikomas automobilių sporte (1.4 pav.). Visi pagrindiniai tokios konstrukcijos elementai yra pagaminti iš plieninių profilių, sujungtų tarpusavyje įstrižais strypais. Gamybai dažniausiai naudojami apvalūs arba stačiakampiai profiliai, kurie tarpusavyje yra sujungiami suvirinimo būdu. Plieniniai profiliai yra išdėstomi taip, kad kiekviename stačiakampio formos elemente būtų po įstrižą strypą, kuris apkrovos metu yra tempiamas arba gniuždomas, o stačiakampio elemento neveikia dideli lenkimo momentai. Tokia konstrukcija smarkiai padidina viso rėmo standumą ir stiprumą bei pagerina apkrovų perdavimą kitiems rėmo elementams [1].



1.4 pav. Erdvinis laikantysis rėmas [21]

Erdvinis laikantysis rėmas pasižymi geresniu standumo ir stiprumo santykiu su mase nei tradicinės laikančiosios konstrukcijos. Taip pat tokio tipo laikančioji konstrukcija labai atspari sukimui ir atlaiko didžiules dinamines apkrovas. Nors tokia konstrukcija yra sudėtinga, bet ji pakankamai lengvai pagaminama ir optimizuojama. Pagrindiniai konstrukcijos minusai yra sudėtinga konstrukcija, didelė pagaminimo kaina, prastas priėjimas prie automobilio agregatų [16, 1].

Dar viena netradicinė laikančioji konstrukcija yra monokokas, vientisa neišardoma kevalo tipo konstrukcija. Monokokai paprastai yra naudojami žiedinių lenktynių automobilių konstrukcijose bei vis dažniau taikomi sportinių automobilių gamyboje. Paprastai monokokas yra naudojamas kaip dalis laikančiosios konstrukcijos, tačiau jis gali sudaryti ir visą laikančiąją konstrukciją (1.5 pav.). Jei monokokas yra naudojamas kaip dalis laikančiosios konstrukcijos, tai yra ta dalis, kurioje sėdi vairuotojas. Tokiu atveju likusios laikančiosios konstrukcijos dalys įvairiais būdais tvirtinamos prie pačio monokoko. Prie pastarųjų konstrukcijų yra tvirtinama automobilio važiuoklė, variklis ir kiti agregatai, tačiau monokokas priima visas dinamines pakabas bei variklio apkrovas [1].



1.5 pav. „McLaren F1“ monokokas [22]

Šiuolaikiniai monokokai pagaminti iš anglies pluoštu armuotų polimerų (angl. Carbon Fibre Reinforced Polymers) yra lengvi, bet labai standūs ir stiprūs. Tipinio Formulės – 1 bolido monokoko, pagaminto iš anglies pluošto, atsparumas sukimui gali siekti 30 000 Nm/laipsniui. Pagrindiniai monokokų trūkumai – tai didelė pagaminimo kaina ir šios struktūros neremontuojamos [1].

1.2. Kėbuluose naudojamos medžiagos

Medžiagos, naudojamos šiuolaikinių automobilių industrijoje, turi atitikti daug kriterijų, tik tokiu atveju jas galima naudoti gamyboje. Vieni iš tų kriterijų yra susiję su aplinkosaugos reikalavimais, kiti – su klientų poreikiais. Daugeliu atvejų skirtingi kriterijai vienas kitam prieštarauja, todėl norint sukurti sėkmingą dizainą, reikia siekti kompromisų. Keletas iš kriterijų, susijusių su aplinkosaugos reikalavimais, yra CO₂ emisijų mažinimas, resursų taupymas bei perdirbimo galimybė. Kiti keliami reikalavimai – kuo mažesnė automobilio masė, konstrukcijos stiprumas bei maža gamybos kaina [3].

Dažniausiai automobilių gamyboje naudojama medžiaga yra plienas ir įvairūs jo lydiniai. Didžioji dalis šios medžiagos yra sunaudojama automobilio kėbulo gamybai. Plienas – tai deformuojamasis (kalusis) geležies lydinys, sudėtyje turintis anglies (iki 2,14 %) bei kitų elementų. Anglis gali būti ištirpusi geležyje (feritas, austenitas, martensitas), sudaryti cementitą Fe_3C ar kitus karbidus. Iš priemaišų visada būna mangano (0,3-0,6 %), silicio (0,1-0,4 %), neišvengiama fosforo bei sieros priemaišų. Plieno savybės priklauso nuo jo cheminės sudėties, terminio apdorojimo ir gaminimo technologijos. Plienas yra išskirtinai universalus, nes jis yra lengvai formuojamas, pasižymi geromis stipruminėmis savybėmis ir yra sąlyginai pigus. Pagrindiniai plieno privalumai, naudojant jį automobilių gamyboje, yra [2, 9]:

- Santykinai maža kaina;
- Atsparumas korozijai, padengus cinko danga;
- Paprastas atskirų plieninių dalių sujungimas;
- Geros smūgio sugėrimo savybės;
- Galimybė perdirbti.

Pagrindiniai trūkumai:

- Sunkesnis nei alternatyvios medžiagos;
- Nėra atsparus korozijai, jei nepadengtas antikorozine danga [2, 9].

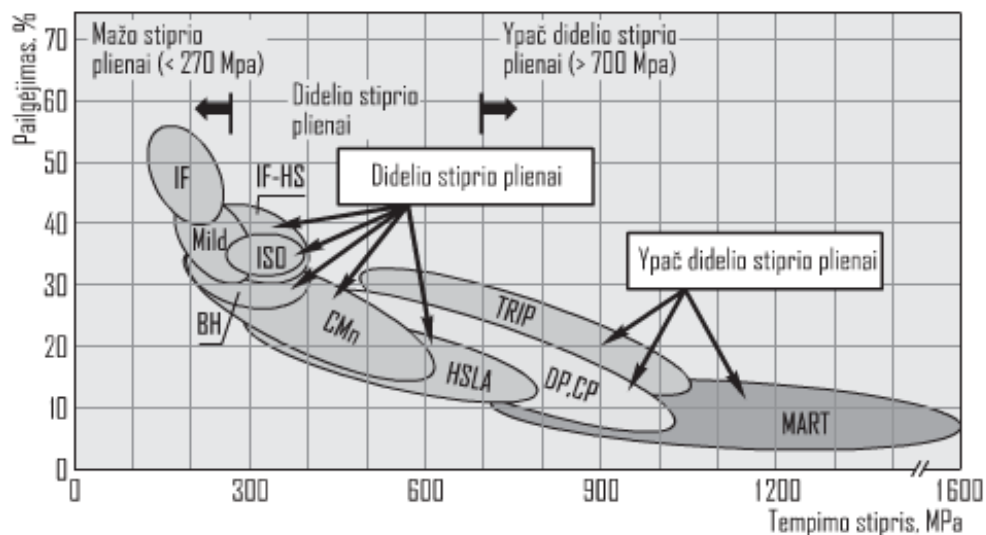
Automobilio laikančiosios konstrukcijos gamybai yra naudojami skirtingas savybes turintys plieno lakštai (1.6 pav.). Jie yra naudojami atskirų automobilio zonų sudarymui, kurios turi įtakos automobilio saugumui. Iš minkštesnių plienų yra gaminama priekinė dalis, kad, autoįvykio metu deformuojantis konstrukcijai, būtų sugerama kuo didesnė dalis smūgio energijos. Automobilio statramsčiai ir stogo juostos yra gaminamos iš ypač stipraus plieno, dažniausiai apdirbamo karštojo šampavimo būdu. Tokių elementų paskirtis – išsaugoti išgyvenimo erdvę automobilio viduje [2].



1.6 pav. Automobilio Honda Civic laikančioji konstrukcija su pavaizduotomis skirtingo stiprumo metalų panaudojimo vietomis [24]

Šiuolaikinių automobilių kėbuluose yra naudojami įvairūs plieno lydiniai, dažniausiai mažaangliai, mažai legiruoti plienai. Pagal tokias savybes, kaip plieno stiprumo riba, galima suskirstyti naudojamus plienus į tris pagrindines grupes (1.7 pav.):

- 1) Mažo stiprio plienas, kurio stiprumo riba yra mažesnė negu 270 MPa. Šiai grupei priklauso plienai, neturintys kietųjų įterpimo fazių, ir minkštieji plienai (angl. *mild steel*). Paprastai tokio tipo skardos yra naudojamos dugno konstrukcijoje, kaip išorinė skarda, suteikianti automobilio kėbului formą, bei galinėje kėbulo dalyje. Elementai, pagaminti iš šio tipo plieno, yra lengvai deformuojami smūgio metu.
- 2) Didelio stiprumo plienas (HSS – *High Strength Steel*), kurio stiprumo riba yra nuo 270 iki 700 MPa. Antrajai grupei priklauso izotropiniai, termiškai kietinami, anglies – mangano ir didelio stiprumo, mažai legiruoti (HSLA – *High Strength Low-Alloy steel*). Šio tipo plienas yra naudojamas gaminti automobilio priekinės dalies elementams (lonžeronai, variklio sienelė), taip pat dugno bei stogo elementų gamybai. Elementai, pagaminti iš šio tipo plieno, gerai sugeria smūgio energiją ir yra sunkiau deformuojami negu minkšto plieno elementai.
- 3) Ypač didelio stiprumo plienas (UHSS – *Ultra High Strength Steel*), kurio stiprumo ribos reikšmė viršija 700 MPa ir gali siekti iki 1700 MPa. Šiai grupei priklauso dvifaziai plienai, kompleksinių fazių plienai, turintys transformacinių virsmų sukeltą plastiškumą ir mažaangliai martensitiniai plienai. Iš šio tipo plieno yra gaminami pagrindiniai elementai, kurie susidūrimo metu turėtų deformuotis mažiausiai ir užtikrinti išgyvenimo erdvę automobilio viduje. Tokie elementai būtų statramsčiai, slenksčiai, stogo juostos [23, 10].



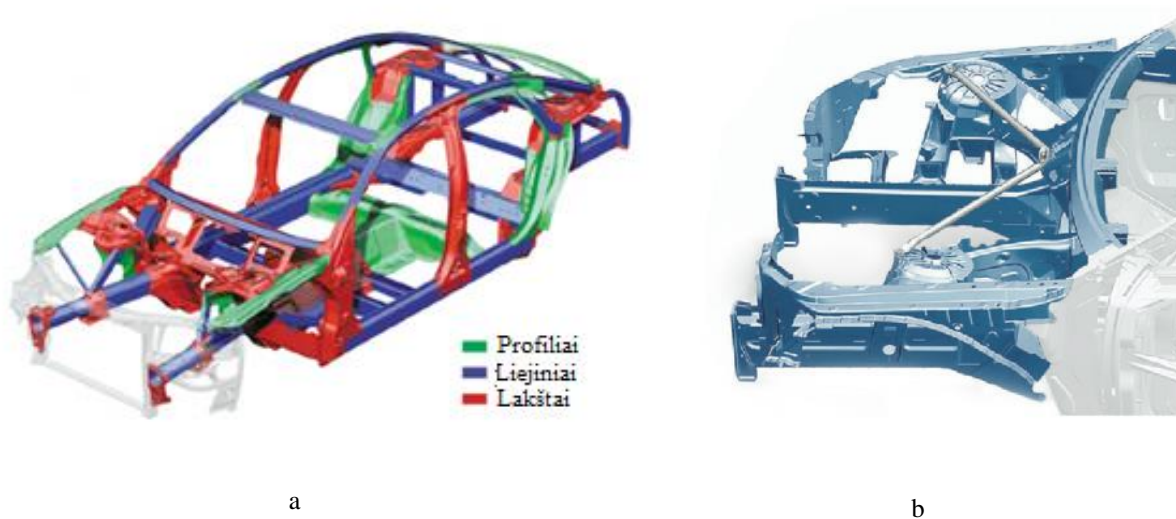
1.7 pav. Mažaanglių mikroleguotųjų plienų grupės ir jų savybės [10]

Kitas metalas, vis dažniau naudojamas automobilių gamyboje, yra aliuminis ir jo lydiniai. Aliuminis tankis yra žymiai mažesnis negu plieno (2.69g/cm^3), vadinasi, aliuminis yra daugiau negu 2,5 karto lengvesnis už plieną. Taip pat mažesnis ir aliuminio tamprumo modulis 69GPa (plieno 210GPa), taigi, kad gamyboje aliuminio bus sunaudojama daugiau. Aliuminio kaina yra didesnė, jis sunkiau

formuojamas ne pu plieno lydiniai, sudėtingesni aliuminių konstrukcijų sujungimo būdai bei sudėtingas aliumininės konstrukcijos remontas. Nors aliumininė automobilio konstrukcija yra lengvesnė ir atsparesnė aplinkos poveikiui, bet tai nesuteikia didžiulio pranašumo prieš plienines laikančiąsias konstrukcijas [2].

Automobilių pramonėje yra naudojami deformuojamieji, liejamieji bei sukepintieji milteliniai aliuminio lydiniai. Deformuojami aliuminio lydiniai, tiksliau – duraliuminis yra aliuminio lydinys su variu, magniu ir manganu. Duraliuminio lydinius galima štampuoti, gaminti iš jų automobilio kėbulo dalis, vamzdžius ir kita. Kadangi duraliumis nėra atsparus korozijai, jis dažnai valcuojamas su plonais gryno aliuminio išoriniais sluoksniais. Lietoms detalėms gaminti yra naudojami Al – Si lydiniai, kurie yra vadinami siluminiais (5-13% Si). Dar šių lydinių sudėtyje gali būti magnio, mangano, geležies, kartais vario ir cinko. Legiruotieji siluminai gali būti termiškai apdorojami grūdinat ar sendinant. Sukepintieji milteliniai aliuminio lydiniai gaminami pagal specialią technologiją: išlydytas techniškai grynas Al išpurškiamas azoto ir deguonies mišiniu, susidarę milteliai briketuojami ir sukepinami 600 °C temperatūroje. Iš briketų yra valcuojami pusgaminiai (stypai, profiliai ir pan.), kurie yra lengvai apdorojami pjaunant, ypač atsparūs korozijai, bet yra neplastiški [9].

Daug gerai žinomų automobilių gamintojų (Audi, BMW, Mercedes-Benz, Porsche, Ford, Ferrari ir kiti) panaudojo aliuminio lydinius gaminat automobilio laikančiąją konstrukciją. Kai kurių modelių laikančiosios konstrukcijos pagamintos vien iš aliuminio, kaip modelio „Audi A8 (D2)“. Ši konstrukcija buvo pavadinta „Audi space frame“ (1.8 pav. a). Taip pat sukurta ir hibridinių konstrukcijų, panaudojant jose ir plieną, ir aliuminį, kaip „BMW 5 (E60)“ priekinė dalis (1.8 pav. b) ar „Audi TT“, kur tik galinė dalis pagaminta iš plieno [16].



1.8 pav. „Audi A8“ laikančioji konstrukcija pagaminta iš aliuminio (a); „BMW 5 (E60)“ priekinė dalis pagaminta iš aliuminio (b) [16, 25]

Kompozitinės medžiagos yra naudojamos sportinių automobilių gamyboje, kurių laikančioji konstrukcija yra monokokas. Tai arba žiedinių lenktynių automobiliai, arba prabangūs sportiniai

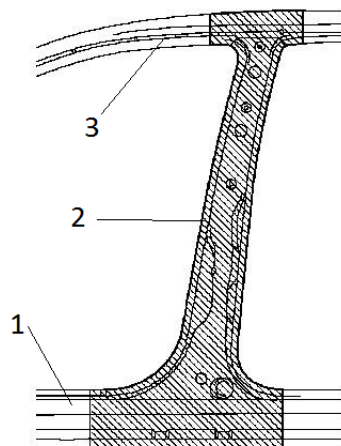
automobiliai. Pastaruoju metu didžioji dalis naujų sportinių automobilių laikančiųjų konstrukcijų yra gaminama iš kompozitinių medžiagų. Iš šių medžiagų yra gaminama net važiuoklės detalės ir ratlankiai. Kompozitinės medžiagos yra naudojamos, norint užtikrinti gerą galios ir svorio santykį, siekiant kuo didesnio laikančiosios konstrukcijos stiprumo bei standumo.

Kompozitinės medžiagos – tai dviejų ar daugiau chemiškai skirtingų medžiagų deriniai. Šioms medžiagoms yra būdinga unikalios savybės, kurios skiriasi nuo kiekvieno iš jas sudarančių elementų savybių. Kompozitines medžiagas sudaro rišamoji medžiaga ir armuojantys užpildai. Kaip rišančiosios medžiagos dažniausiai yra naudojama poliesterinė arba epoksidinė dervos. Armuojantys užpildai yra kelis kartus stipresni už rišamąją medžiagą ir nulemia mechanines kompozitinės medžiagos savybes. Kaip armuojančios medžiagos laikančiųjų konstrukcijų gamyboje dažniausiai yra naudojami anglies ir stiklo pluoštai [9].

Automobilių laikančiosios konstrukcijos, pagamintos iš kompozitinių medžiagų, pasižymi labai dideliu standumu bei stiprumu, geba atlaikyti didžiules dinamines apkrovas ir tuo pačiu yra labai lengvos. Tačiau tokių konstrukcijų gaminimas iš kompozitų yra sudėtingas ir brangus procesas, kuris masinei gamybai nėra pritaikytas. Dėl didelės gamybos bei medžiagos kainų kompozitai naudojami tik sportinių ir prabangių automobilių kėbulų gamybai.

1.3. B – statramsčio konstrukcija

Automobilio šonines dalies centrinis statramstis, dar vadinamas B – statramsčiu, yra laikančiosios konstrukcijos dalis, jungianti stogo konstrukciją su slenksčiu (1.9 pav.). Šis laikančiosios konstrukcijos elementas yra labai svarbus ne tik bendram konstrukcijos stiprumui, bet ir atlieka svarbų vaidmenį šoninio smūgio ar apsvertimo metu. B – statramsčio paskirtis yra atlaikyti smūgio jėgą kuo mažiau deformuojantis. Taip yra išsaugojama išgyvenimo erdvė automobilio viduje ir sumažinama rimtų sužeidimų tikimybė.



1.9 pav. Šoninė laikančiosios konstrukcijos dalis [26]: 1- slenkstis, 2 – B – statramstis, 3 – stogo konstrukcija

Tipišką B – statramsčio konstrukciją sudaro keletas pagrindinių elementų, pavaizduotų 1.10 paveiksle. Tokią konstrukciją sudaro trys ar daugiau šampuotų profilių, sujungtų tarpusavyje taškinio suvirinimo būdu. Išorinis profilis gaminama iš minkšto plieno lakštų, tuo tarpu vidiniam profiliui naudojama didelio stiprumo plieno (HSS) lakštai. Vidurinis stiprinantis profilis paprastai yra stipriausias konstrukcijos elementas, karštai šampuojamas iš ypač didelio stiprumo plieno (UHSS) lakštų.



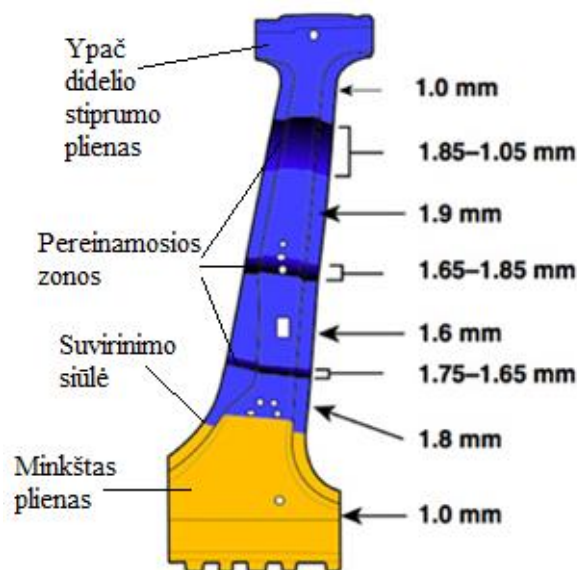
1.10 pav. Tipinė B – statramsčio konstrukcija iš trijų elementų [28]: 1 – išorinis profilis; 2 – vidurinis stiprinantis profilis; 3 – vidinis profilis

Skirtingi automobilių koncernai automobilių laikančiąsias konstrukcijas gamina skirtingai, taigi ir B – statramsčio konstrukcija daugiau ar mažiau skiriasi. Automobilių gamintojai gali naudoti papildomus stiprinimo elementus kaip papildomas didelio stiprumo plokštes ar kitus elementus. Vienas iš gamintojų savo automobilių gamyboje naudojantis tokius elementus - Subaru. B – statramsčio konstrukcijoje, pavaizduotoje 1.11 paveiksle, matome panaudotas papildomas stiprinančias plokšteles bei strypinį elementą. Šie elementai neleidžia statramsčio konstrukcijai deformuotis vidurinėje jos dalyje, nukreipdami smūginę apkrovą į dugno ir stogo konstrukcijas [29].



1.11 pav. Subaru B – statramsčio konstrukcija [29]: a – stiprinantys elementai; b – perpjautos konstrukcijos vaizdas

Viena iš naujausių technologijų, naudojamų laikančiųjų konstrukcijų elementų gamybai, yra skirtingų mechaninių charakteristikų metalo lakštų sujungimas tarpusavyje. Metalo lakštai tarpusavyje sujungiami lazerinio suvirinimo arba šalto valcavimo būdais. Tuo siekiama reikiamose vietose sustiprinti konstrukciją ar įterpti deformacines zonas, kaip parodyta 1.12 pav. Kaip parodyta paveiksle, apatinė statramsčio dalis, kur jis susijungia su slenksčio konstrukcija, yra iš minkšto plieno. Siekiama, kad B – statramsčio apatinė dalis deformuotųsi, o viršutinė dalis išliktų nepakitusi. Tam yra naudojami ypač didelio stiprumo plieno lakštai, dažniausiai keli sluoksniai, šalto valcavimo būdu sujungti tarpusavyje [40].



1.12 pav. B – statramsčio stiprinantis elementas pagamintas iš skirtingų savybių metalų [27]

Pasitelkus modernias metalo apdirbimo ir formavimo technologijas galima pasiekti optimalių rezultatų automobilio laikančiosios konstrukcijos bei jos elementų svorio ir standumo atžvilgiu. Tuo pačiu yra sumažinamas bendras laikančiosios konstrukcijos elementų skaičius.

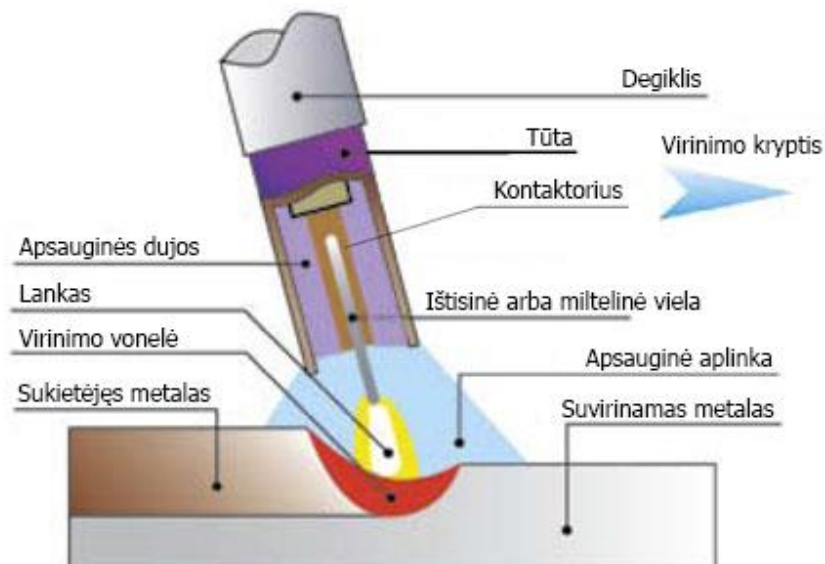
1.4. Suvirinimo būdai, technologija

Automobilio gamyba susideda iš keleto svarbių procesų. Suvirinimas yra vienas iš jų. Be to, suvirinimas yra vienas iš pagrindinių procesų remontuojant automobilio kėbulą. Suvirinimas yra technologinis procesas, skirtas neišardomai sujungti skirtingoms dalims, norint gauti reikiamą konfigūraciją. Pagrindiniai suvirinimo būdai naudojami automobilių gamyboje bei remonte yra [11]:

- Lankinis suvirinimas dujų aplinkoje (MIG/MAG, TIG);
- Kontaktinis (taškinis) suvirinimas;
- Lazerinis suvirinimas.

MIG/MAG suvirinimo būdas – tai lankinis suvirinimo būdas lydžiuoju elektrodu dujų aplinkoje (1.13 pav.). Virinant yra naudojamos apsauginės inertinės dujos (MIG) arba aktyviosios dujos (MAG). Viela naudojama kaip lydusis elektrodas ir yra automatiškai pastoviu greičiu tiekama į suvirinimo

vonele. Gali būti naudojama vientisa arba miltelinė viela. Suvirinimas lydžiuoju elektrodu pusiau automatiniu būdu apsauginių dujų aplinkoje pasižymi gerai apsaugoma suvirinimo zona nuo oro, deguonies ir azoto kenksmingo poveikio; suvirintos siūlės geromis mechaninėmis savybėmis; galimybe suvirinti įvairaus storio metalus (1÷50 mm ir daugiau); dideliu suvirinimo našumu (iki 20 m/val); galimybe stebėti, kaip formuojasi siūlė; maža terminio poveikio zona [5].



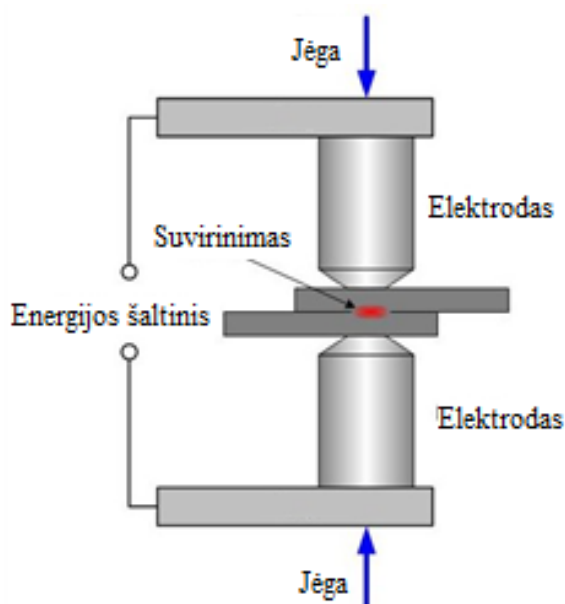
1.13 pav. Suvirinimo MIG/MAG būdu schema [31]

Virinant TIG būdu suvirinimo lankas dega tarp volframo elektrodo ir pagrindinio metalo, suvirinimo vonelė apsaugoma inertinėmis dujomis. Suvirinant šiuo būdu gali būti naudojamas pridėtinis metalas, kuris pridedamas rankiniu arba automatiniu būdu. Inertinės dujos, naudojamos suvirinimo procese, yra argonas ir helis, kurios apsaugo suvirinimo siūlę nuo atmosferos poveikio. TIG suvirinimo būdu galima suvirinti tokius metalus kaip nerūdijantį plieną, aliuminį, varį, titaną, nikelį ir jo lydinius. Virinant neišsiskiria dūmai ar šlakas, metalas nesitaško, o suvirinimo siūlė gaunama švari ir kokybiška [4, 7].

Kontaktinis suvirinimas yra toks suvirinimas, kai metalinės medžiagos suspaudžiamos, įkaitinus jungimo vietą tekančios elektros srovės šiluma. Pagal kaitinimo būdą kontaktinis suvirinimas būna varžinis (kaitinama iki plastinės deformacijos temperatūros) ir aplydomasis (kaitinama iki lydymosi temperatūros). Pagal suvirintąją siūlę – sandūrinis (virinama detalės sandūra), taškinis (virinama jungimo vieta tarp elektrodo), ritininis (siūlė sudaroma skridinio pavidalo elektrodais) [4].

Kontaktinis (taškinis) suvirinimas - plačiausiai naudojamas suvirinimo tipas automobilių industrijoje. Didžiąją dalį (iki 90 procentų) automobilio laikančiojo kėbulo suvirinimo siūlių sudaro taškinio suvirimo siūlės. Taškinio suvirinimo būdu daugiausia virinami 0,5-6 mm storio, įvairių metalų gaminiai. Tai labai greitas, paprastas ir pigus būdas suvirinti skardoms tarpusavyje. Taškinio suvirinimo siūlės yra sudaromos virinant varžiniu būdu. Suvirinamos detalės yra spaudžiamos elektrodais, tarp kurių tekanti elektros srovė įkaitina metalą iki artimos lydymosi temperatūros. Dėl aukštos temperatūros

ir slėgio metalai susijungia tarpusavyje ir susidaro suvirinimo siūlė. Taškinio suvirinimo schema pavaizduota 1.14 paveiksle [4, 2].



1.14 pav. Taškinio suvirinimo schema [30]

Lazeriniu suvirinimu yra vadinamas technologinis procesas neišardomam sujungimui gauti, naudojant vietinį gretimų metalo paviršių išlydymą. Įkaitinimo šaltinis yra kvantinio generatoriaus sukonzentruotas spinduliavimo srautas - lazeris. Kaip išlydymo ir kristalizacijos rezultatas, dėl tarpatominės sąveikos atsiranda stiprus sujungimas (suvirinimo siūlė). Kai metalas yra pernešamas išilgai siūlės, gaunama kokybiškiausia siūlė, kai skersai – gali atsirasti tuštumų. Lydomuoju būdu dažnai suvirinama be priedų ir labai sparčiai. Šiluminio poveikio sritis būna nedidelė, suvirintoji siūlė švari ir siaura, beveik nedeformuota [5, 4].

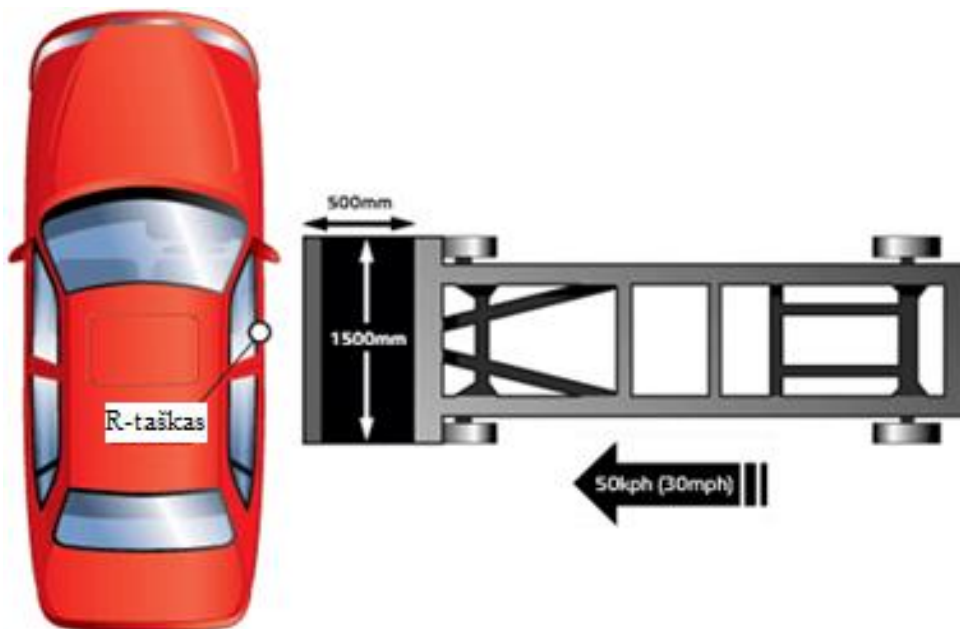
Virinant lazeriniu būdu yra naudojama dujų apsauga, turinti keletą paskirčių. Dujų srautas apsaugo fokusavimo sistemą nuo pažeidimo metalo lašeliais ir dūmais, apsaugo vonios metalą nuo sąveikos su atmosfera, pašalina susidarančią plazmą ir pagerina spindulio sklaidimo sąlygas (ypač, kai didelė spindulio galia ir mažas suvirinimo greitis). Susidarančiai plazmai nupūsti dažniausia naudojamas helis arba argonas. Suvirinant impulsinės veiklos lazeriais, plazmos susidarymo galima išvengti. Spindulio impulsų trukmė turi būti mažesnė už laiko trukmę, reikalingą plazmos susidarymui. Šiuo atveju spindulys daug efektyviau skverbiasi gilyn į suvirinamą metalą, pasiekiamas tolygesnis išlydymo gylis [5].

1.5. Šoninio susidūrimo bandymai

Europos Sąjungos teisės aktai apibrėžia minimalius saugumo reikalavimus, kuriuos turi atitikti automobiliai, kad juos galima būtų pardavinėti ir eksploatuoti Europos Sąjungos ribose. Tačiau Euro NCAP (angl. European New Car Assessment Programme) neapsiriboja minimaliais Europos Sąjungos saugumo reikalavimais. Euro NCAP atliekamų testų rezultatai yra viešai skelbiami bei transporto

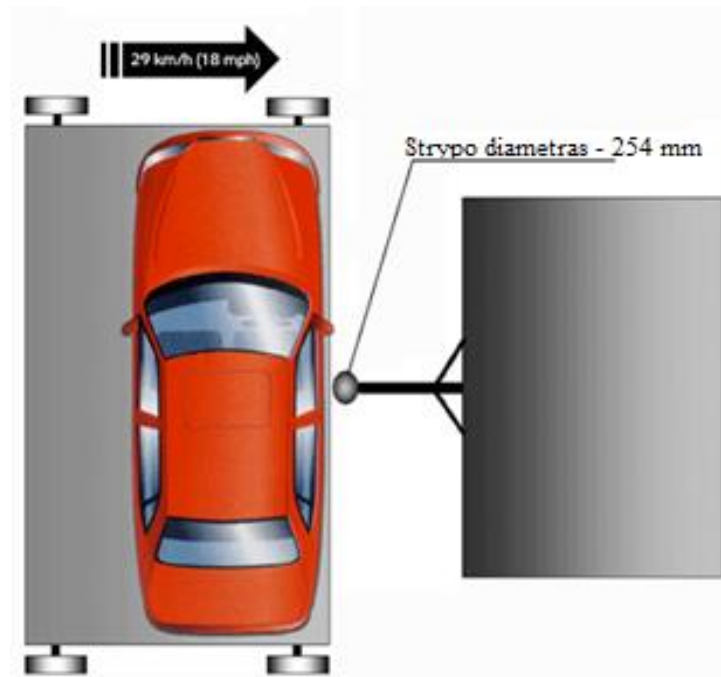
priemonės yra grupuojamos pagal klasę, dydį ir svorį. Taip galima saugumo atžvilgiu palyginti skirtingų automobilių gamintojų modelius tarpusavyje. Pagrindiniai Euro NCAP atliekami testai yra smūgis automobilio priekine dalimi į deformuojamą ar nedeformuojamą barjerą; šoninio smūgio bandymas (naudojant mobilųjį deformuojamą barjerą); šoninis smūgis į nejudantį stulpą [32].

Šoninio smūgio testo esmė imituoti autoįvykį, kai vienas automobilis priekine dalimi rėžiasi į kito automobilio šoninę dalį. Automobilis paruošiamas testui taip, kad atitiktų gamintojo deklaruojamą nepakrauto automobilio masę. Bandyme naudojamas WoldSID 50% reprezentuojantis manekenas, kuris pasodinamas vairuotojo sėdynėje. Testas atliekamas smūgiuojant mobiliu deformuojamu barjeru į nejudantį automobilį. Mobilusis deformuojamas barjeras smūgiuoja 50 km/h greičiu į „R – tašką“ (jį atitinka 95% reprezentuojančio manekeno klubo sąnario vieta). Jį sudaro vežimėlis ir deformuojamas barjeras, kurio plotis yra 1500 mm, aukštis – 500 mm, storis – 500 mm. Šoninio smūgio mobiliu deformuojamu barjeru schema pavaizduota 1.15 paveiksle [33].



1.15 pav. Euro NCAP šoninio smūgio testo schema [32]

Ketvirtadalis visų autoįvykių, kurie baigiasi rimtais sužeidimais ar mirtimi, nutinka, kai automobilis šonu trenkiasi į nejudamą objektą (medį, elektros stulpą, tilto atramą). Euro NCAP šoninio smūgio į nejudamą stulpą bandymą pristatė 2000 m., kad paskatintų stogo oro pagalvių taikymą naujuose automobiliuose. Be šių oro pagalvių toks šoninis smūgis yra mirtinas, kadangi vairuotojo galva yra visiškai neapsaugota. Automobilio paruošimas ir naudojamas manekenas nesiskiria nuo šoninio smūgio su mobiliu deformuojamu barjeru. Testo metu automobilis šonu trenkiasi į siaurą metalinį stulpą, kurio diametras 254 mm (1.16 pav.). Šoninis automobilio judėjimo greitis siekia 30 km/h, o stulpas trenkiasi į vairuotojo dureles ties manekeno galva [32, 33].



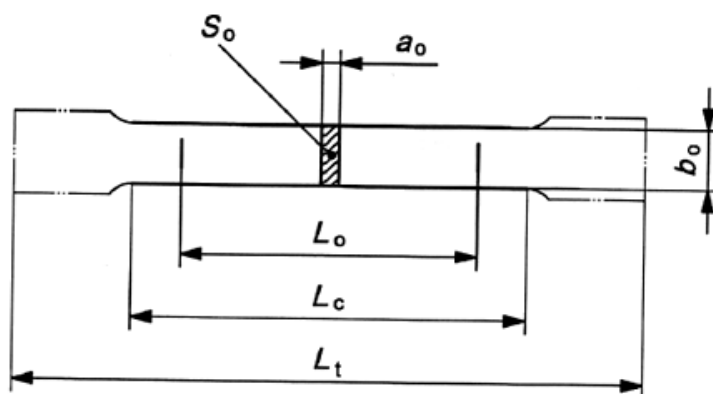
1.16 pav. Šoninio smūgio į stulpą testo schema [34]

Euro NCAP testai yra itin svarbūs, šiuolaikiniai automobiliai darosi vis saugesni būtent šių bandymų dėka. Siekiant aukštesnio įvertinimo Euro NCAP testuose, nauji automobiliai standartiškai turi bent jau šešias oro pagalves, diržo įtempėjus bei daug kitų saugos sistemų. Transporto priemonių aktyvioji sauga taip pat tobulėja, taigi nuo 2010 atliekami ir aktyviosios saugos sistemų bandymai, už kuriuos yra skiriami papildomi balai.

2. TYRIMŲ DALIS

2.1. Medžiagų mechaninių charakteristikų nustatymas

Tyrimo metu buvo atliekami eksperimentiniai tempimo bandymai, siekiant nustatyti medžiagų mechanines charakteristikas, reikalingas skaitiniam modeliui sudaryti. Vienas iš pagrindinių medžiagos mechaninių bandymų yra tempimo bandymas. Bandymo metu yra nustatomi medžiagos stiprumo, tamprumo ir plastiškumo rodikliai, kurie visapusiškai atspindi svarbiausias medžiagos mechanines savybes. Kadangi medžiagų mechaninių bandymų atlikimo metodika yra normuojama, plieno bandiniai buvo paruošti pagal LST EN ISO 6892-1:200 standartą. Šis standartas yra pritaikomas bandiniams, kurių storis siekia nuo 0,1 mm iki 3 mm. Metalo bandinio geometrinių parametų schema pateikta 2.1 paveiksle.



2.1 Metalo bandinio geometrinių parametų schema [38]

2.1 lentelė

LST EN ISO 6892-1:200 standartas [38]

Bandinio tipas	Bandomosios dalies plotis b_0 , mm	Bandomosios dalies ilgis L_0 , mm	Ilgis iki praplatėjimo, mm		Bandinio ilgis iki griebtuvų, mm
			Mažiausias	Rekomenduojamas	
1	12,5	50	57	75	87,5
2	20	80	90	150	140
3	25	50	60	-	-

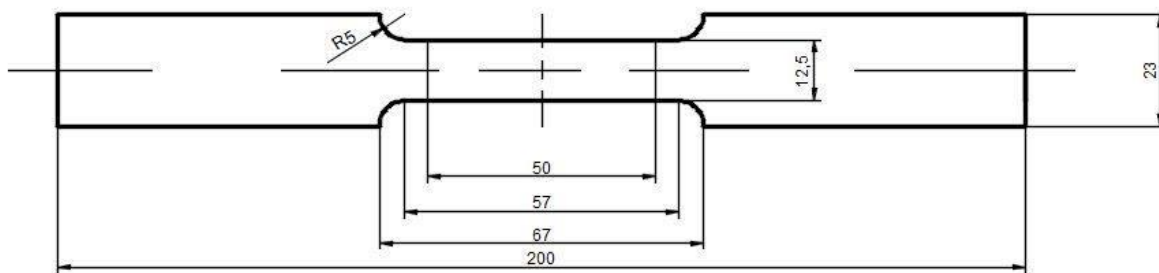
Bandinio geometriniai matmenys trijų skirtingų tipų bandiniams yra pateikti 2.1 lentelėje. Pagal duomenis, pateiktus lentelėje, galima apskaičiuoti minimalius reikiamus matmenis pagal pateiktas išraiškas:

$$L_c = L_0 + b_0/2, \quad (3.1)$$

$$L_t = L_0 + 2b_0. \quad (3.2)$$

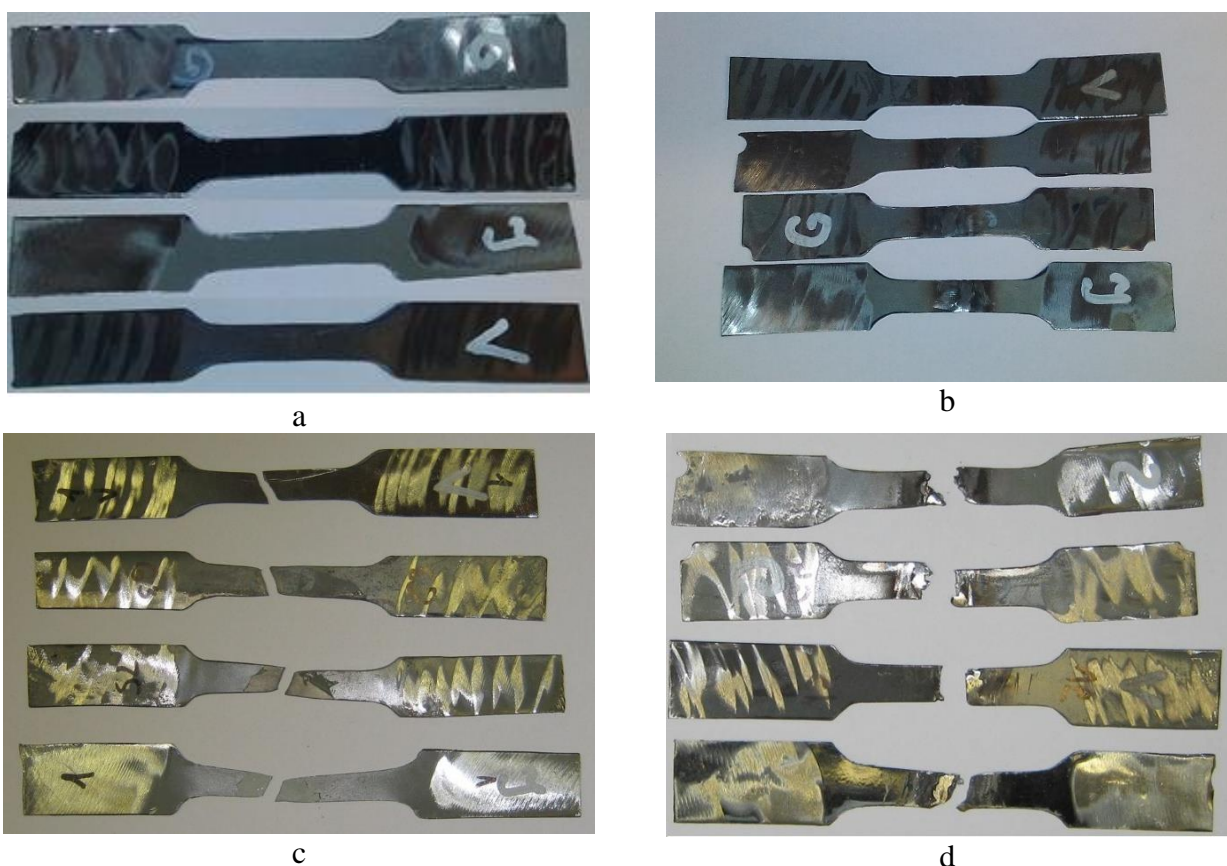
$$S_0 = ab_0. \quad (3.3)$$

Medžiagų mechaninių charakteristikų nustatymui buvo pasirinktas 1-ojo tipo bandinio variantas, kurio geometrinius parametrus reglamentuoja LST EN ISO 6892-1:200 standartas. Bandinys ir jo matmenys yra pateikti 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Bandinio matmenys

Bandymams atlikti iš viso buvo paruošta 17 bandinių iš skirtingų statramsčio profilių (2.3 pav.).



2.3 pav. Skirtingų savybių metalo bandiniai: a – plieno bandiniai; b – suvirinti baniniai; c - bandiniai po nutraukimo; d – virinti bandiniai po nutraukimo

Skirtinguose statramsčio profiliuose dažniausiai naudojami plienai, turintys skirtingas mechanines charakteristikas. Buvo paruošta po tris bandinius iš kiekvieno profilio, kad gauti rezultatai būtų tikslesni. Norint nustatyti ir suvirinimo siūlės mechanines charakteristikas, be standartinių bandinių (2.3 pav. a), buvo paruošti ir virinti bandiniai (2.3 pav. b). Šie bandiniai išjauti iš tų pačių profilių kaip ir standartiniai, pjauti bandomosios dalies viduryje ir suvirinti MIG būdu. Suvirinimo siūlė buvo nušlifuota, kad jos storis atitiktų bandinio. Iš (2.3 pav. c) matyti, kad visi bandiniai trūko bandomojoje dalyje, o virinti bandiniai (2.3 pav. d) nutrūko ties suvirinimo siūle. Kaip ir buvo tikėtasi, suvirinti bandiniai trūko

suvirinimo siūlės krašte, o ne per pačią siūlę. Bandymo metu nustatytos mechaninės medžiagų charakteristikos pateiktos 3.1 ir 3.2 lentelėse.

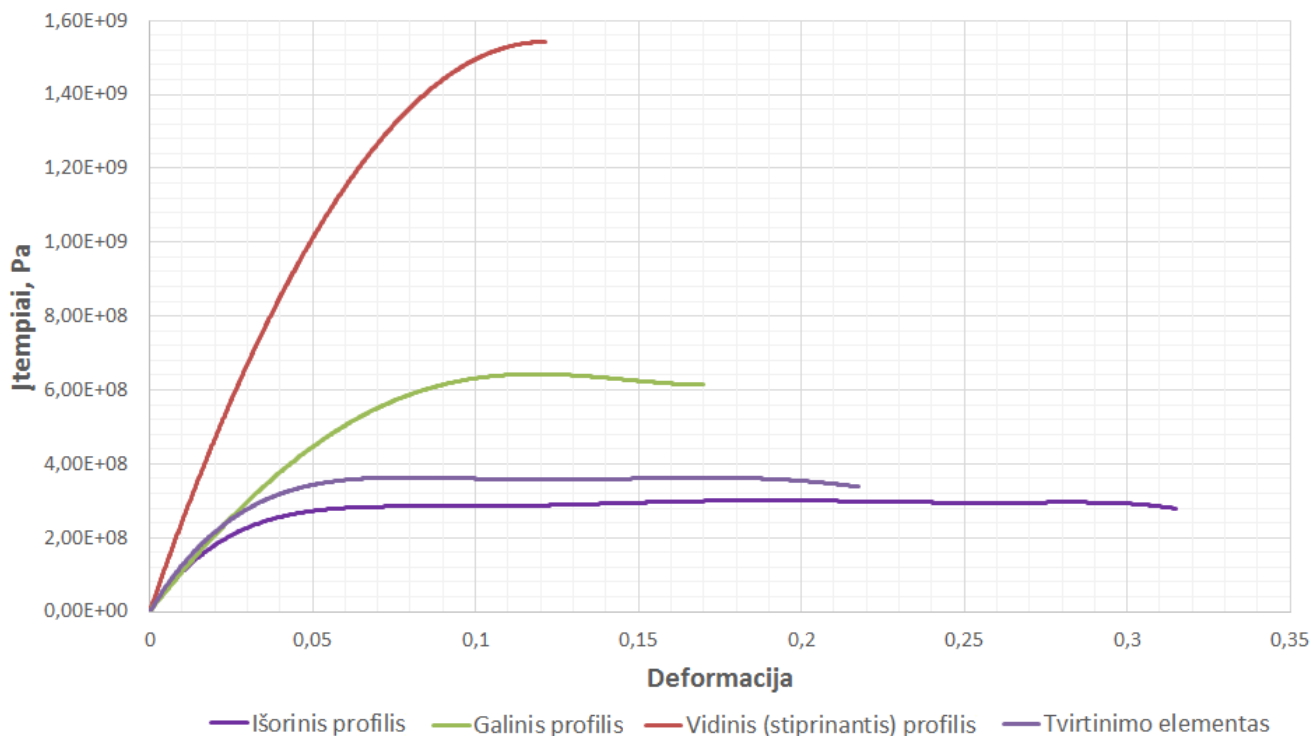


2.4 pav. Eksperimentinių tempimo bandymų sistema: 1 – kompiuteris su duomenų registravimo sistema; 2 – universali bandymų mašina; 3 – jėgos jutiklis; 4 – poslinkio jutiklis

Bandiniai buvo tempiami specialia mašina, įtvirtinus bandinio galus jos griebtuose (2.4 pav.). Matavimo sistemą sudarė jutikliai, matuojamų dydžių keitikliai ir kompiuteryje įdiegta programinė įranga, kuri fiksuoja jėgos ir atstumo pokyčius laiko momentu. Tempiančios jėgos ir atstumo tarp griebtų pokyčio ryšį parodo grafikas $\Delta = f(F)$. Atlikus tempimo bandymus, gauti duomenys buvo panaudoti įtempiams bei deformacijoms apskaičiuoti. Bandinio pailgėjimas ΔL apskaičiuojamas, išmatavus bandinio ilgį po bandymo L ir iš jo atėmus pradinį bandinio ilgį L_0 , $\Delta L = L - L_0$. Apskaičiavus bandinio skerspjūvio plotą A_0 , buvo apskaičiuojami įtempiai $\sigma = \frac{F}{A_0}$ bei vidutinės deformacijos $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$. Apskaičiavus reikiamus dydžius, buvo sudarytos įtempių ir deformacijų diagramos. Abscisių ašyje atidedamos deformacijos, o įtempiai - ordinačių ašyje [39].

Atlikus tempimo bandymą iš gautų duomenų siekiama nustatyti takumo σ_y ir stiprumo σ_u ribas. Takumo riba yra mažiausias sąlyginis įtempis, kuriam veikiant ilgėja nedidinat apkrovos. Kai kurios medžiagos neturi takumo aikštelės, todėl yra nustatoma sąlyginė takumo riba. Pagal standartą santykinė takumo riba – tai įtempis, dėl kurio medžiagoje atsiranda 0,2% didumo plastinė deformacija, kuri yra žymima simboliu $\sigma_{0,2}$. Stiprumo riba – tai didžiausias sąlyginis įtempis, kurį atlaiko bandinys. Viršijus

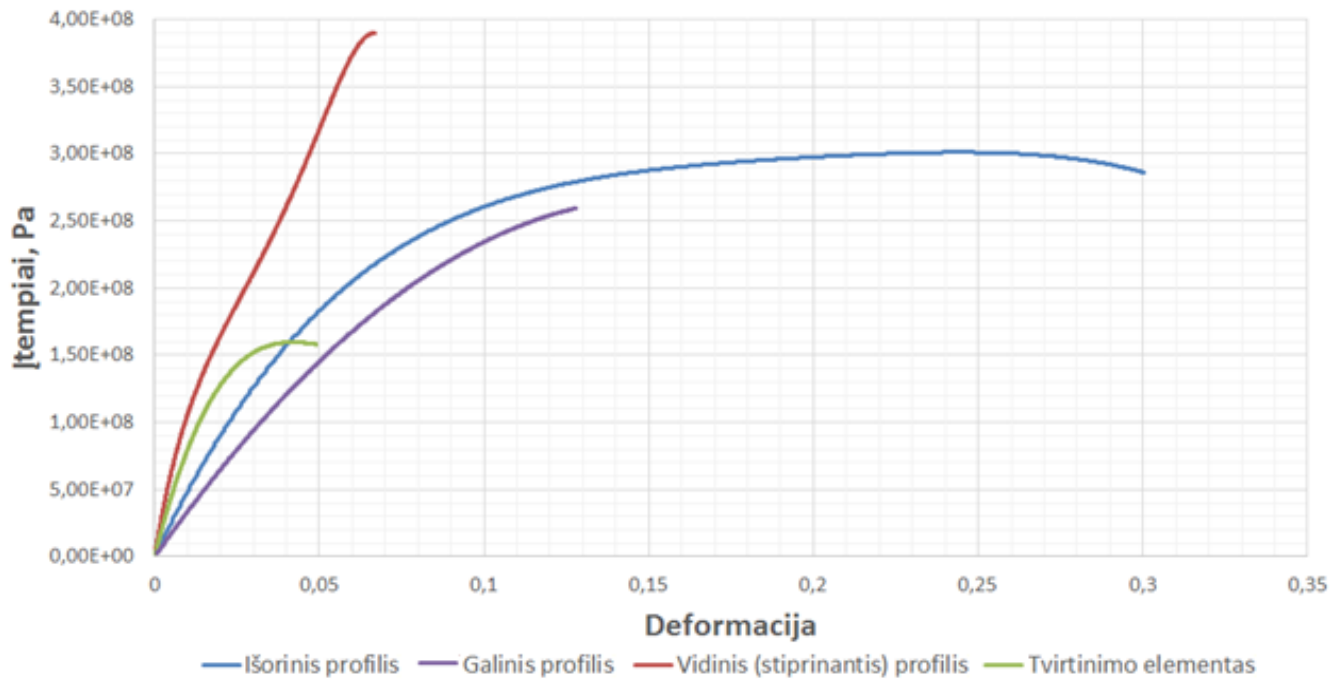
stiprumo ribą, tempiant bandinį, susidaro kaklelis, o apkrova mažėja. Kartais skaičiuojamas sąlyginis įtempis $\sigma_{fr} = \frac{F_{fr}}{A_0}$, kuris yra vadinamas trūkimo riba. Pasiekus šią ribą bandinys nutrūksta. Tačiau šis rodiklis medžiagos mechaninėms charakteristikoms apibūdinti praktiškai nenaudojamas [39].



2.5 pav. Bandinių įtempių ir deformacijų kreivės

Tempimo bandymo metu buvo nustatoma keturių pagrindinių B – statramsčių sudarančių profilių medžiagų mechaninės charakteristikos. Kiekvieno profilio medžiagos įtempių ir deformacijų ryšiu nustatyti sudaryta diagramos (2.5 pav.). Minėtoje diagramoje yra pavaizduoti duomenys, gauti eksperimentiniu būdu tiriant standartinius vientisus bandinius. Analizuodami šią diagramą galime teigti, kad vidinis statramsčio konstrukcijos profilis yra pagamintas ypač didelio stiprumo plieno (UHSS), jo stiprumo riba viršija 1500 MPa. Galinis profilis pagamintas iš ne tokio stipraus plieno, jo stiprumo riba siekia 630 MPa. Medžiagos, iš kurios pagamintas tvirtinimo elementas, stiprumo riba siekia 350 MPa, santykinė deformacija 0,22. Ir galiausiai, plienas, iš kurio pagaminta išorinis statramsčio, profilis stiprumo riba siekia 300 MPa, o santykinė deformacija – net 0,32.

Siekiant nustatyti, kaip medžiagos savybės įtakoja jos sujungimas suvirinimo būdu, buvo atlikti eksperimentiniai bandymai, panaudojus bandinius sujungtus suvirinimo būdu. Iš gautų duomenų sudaryta įtempių ir deformacijų diagrama pavaizduota 2.6 paveiksle. Iš diagramos matyti, kad suvirinto bandinio išpjauto iš vidinio profilio, stiprumo riba siekia 390 MPa, o santykinė deformacija – 0,07. Galinio profilio bandinio stiprumo riba yra 260 MPa, o santykinė deformacija – 0,13. Bandinio, išpjauto iš išorinio profilio, stiprumo riba siekia 300 MPa, santykinė deformacija siekia – 0,3. Bandinio, išpjauto iš tvirtinimo elemento, stiprumo riba siekia vos 160 MPa, santykinė deformacija – 0,05.



2.6 pav. Virintų bandinių įtempių ir deformacijų kreivės

Lyginant (2.5 pav.) ir (2.6 pav.) pavaizduotas diagramas pastebėta, kad virintų ir nevirintų bandinių, kurie buvo išpjautų iš tų pačių profilių, mechaninės savybės smarkiai skiriasi. Vidinio profilio stiprumo riba po suvirinimo sumažėjo 1100 MPa arba 4 kartus, santykinis pailgėjimas taip pat smarkiai sumažėjo. Taip pat sumažėjo galinio profilio ir tvirtinimo elemento medžiagos stiprumo ribos. Nepakito tik išorinio profilio medžiagos savybės – tiek stiprumo ribos reikšmė, tiek santykinis pailgėjimas išliko praktiškai tokie pat.

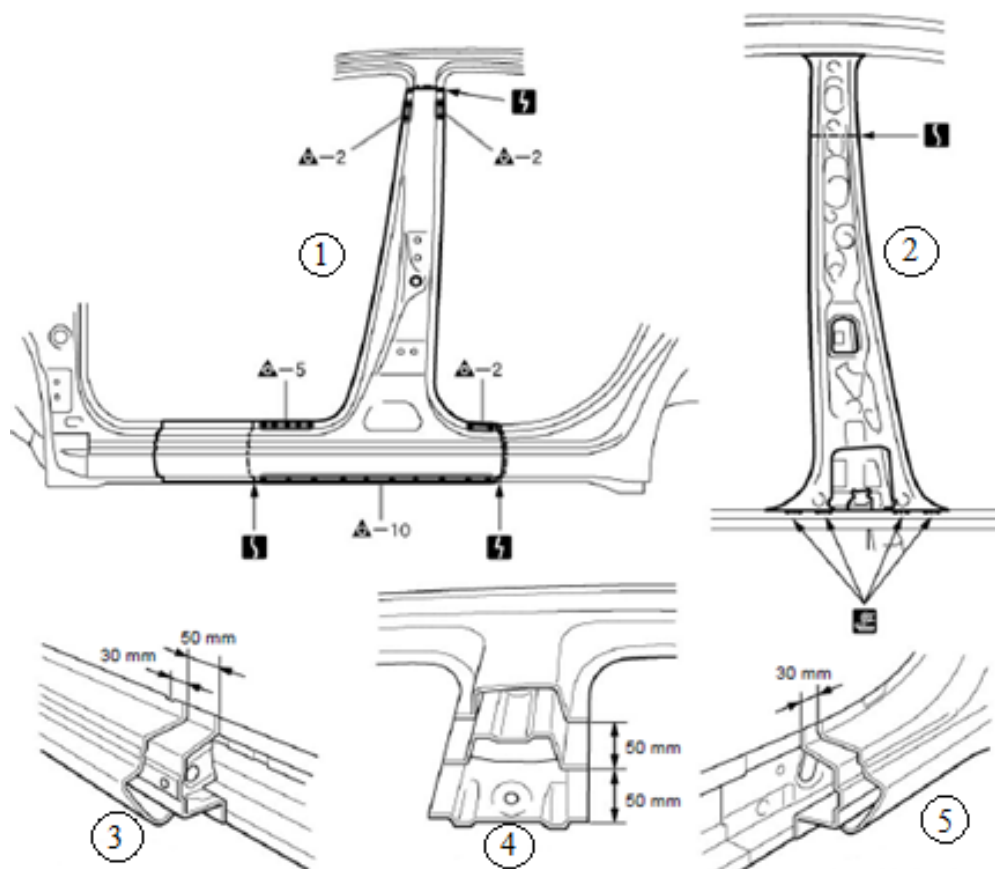
Išanalizavus gautas diagramas ir palyginus jas tarpusavyje, pastebėta, kad metalo sujungimas suvirinimo būdu turi didelę įtaką metalo stiprumui tempiant. Didelis skirtumas gali susidaryti dėl daug priežasčių, susijusių su suvirinimo procesu. Visų pirma, skirtumas galėjo atsirasti dėl suvirinimo siūlės medžiagos mechaninių charakteristikų skirtumo ir terminio poveikio zonos, kuri susidaro aplink suvirinimo siūlę. Kiti faktoriai, įtakojantys suvirinto bandinio stiprumą, yra suvirinimo siūlės vientisumas, per maža suvirinimo įtampa, siūlės užterštumas.

2.2. B – statramsčio remonto metodika. Gamintojo siūlomi būdai

Automobilio kėbulo remontas taikomas kėbulo konstrukcijai atitaisyti, kuri paprastai yra pažeidžiama autoįvykio metu. Koks remonto būdas bus taikomas, priklauso nuo to, kaip smarkiai apgadintas automobilio kėbulas. Smulkūs defektai gali būti taisomi meninio lyginimo būdu ar glaistant ir perdažant kėbulą. Stambūs kėbulo defektai remontuojami atstatinėjant kėbulo geometriją ar pervirinant kėbulo dalį.

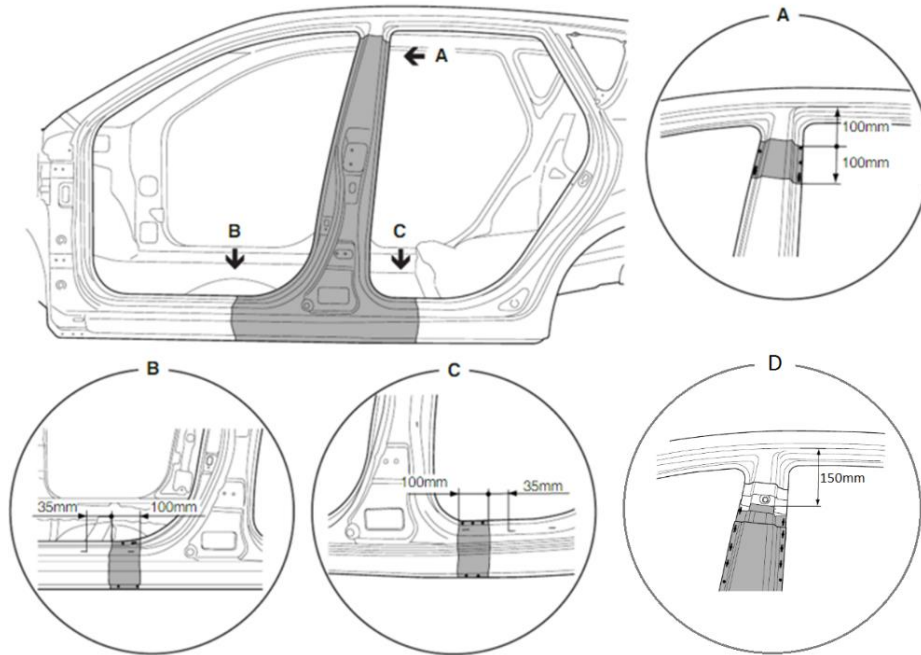
Stambūs automobilio kėbulo defektai atsiranda po smarkaus automobilio susidūrimo su kliūtimi. Taigi teisingai atliktas automobilio kėbulo remontas yra būtinas, norint išlaikyti struktūrinę konstrukcijos vientisumą. Kadangi nuo automobilio kėbulo remonto kokybės tiesiogiai priklauso jo saugumas,

remontą turėtų atlikti specializuoti servिसai, turintys reikiamą įrangą ir žinių reikalingų šiam darbui atlikti. Specializuoti servिसai dažniausiai turi gamintojo žinytus, kuriuose yra nurodoma visa remontui reikalinga informacija. Žinynuose yra pateikiama kėbulo išmatavimai geometrijai atkurti bei nurodymai, kaip pervirinti atskiras dalis.



2.7 pav. „Toyota Yaris“ centrinio statramsčio išardymo schema [35]

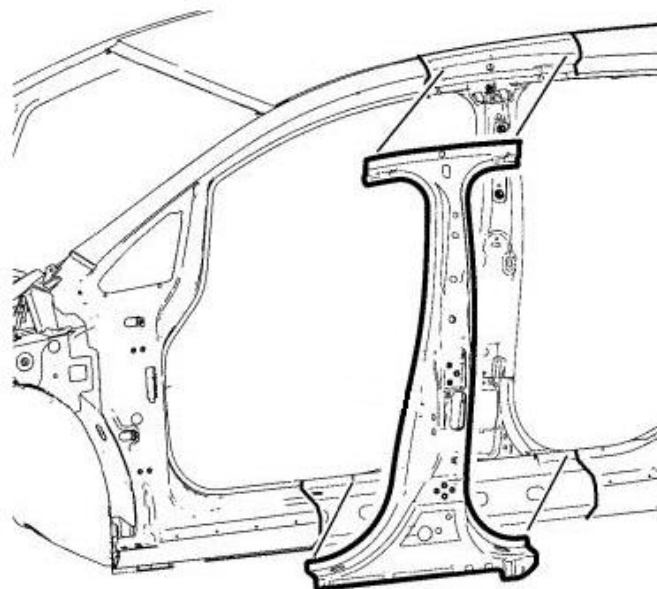
Apžvelgus keleto gamintojų B – statramsčio išardymo schemas, pastebėta, kad kiekvieno automobilio remontas atliekamas skirtingai. Skiriasi atskirų elementų pjūvių ir jungimų vietos. Schemoje, pavaizduotoje 2.7 paveiksle, gamintojas nurodo, kaip tinkamai pakeisti automobilio B – statramstį, kai pažeistas ne tik išorinis profilis. Nurodytose vietose sugadinti statramsčio elementai yra pjaunami, nugręžiami taškiniai suvirinimai ir vienas po kito pašalinami statramsčio konstrukciją sudarantys profiliai (2.7 pav. 1, 2). Parodoma, kaip atpjauti kiekvieną statramsčio elementą (2.7 pav. 3, 4, 5), kad vėliau būtų paprasta suvirinti atskirus profilius ir jie persidengtų. Pašalinus sugadintą statramsčio dalį, kaip parodyta pavyzdyje, kiekvienas profilis pritaikomas ir suvirinamas (MIG/MAG ar TIG būdu). Profiliai tarpusavyje yra sujungiami taškinio virinimo būdu, suvirinimo siūlės yra sulyginamos, kėbulas glaistomas ir perdažomas.



2.8 pav. „Hyundai I30“ B – statramsčio išardymo schema [36]

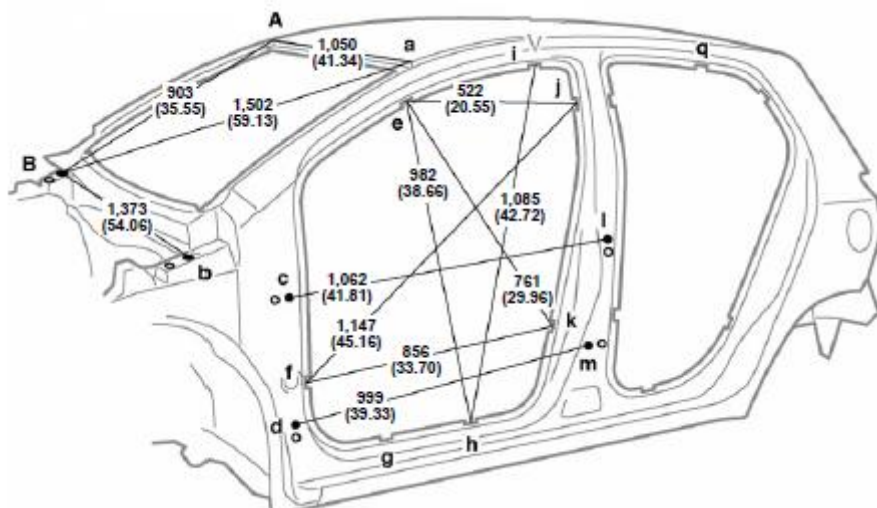
Panaši B – statramsčio išardymo ir remonto metodika yra pateikiama ir „Hyundai“ techniniame žinyne (2.8 pav.). Pati išardymo ir remonto metodika yra labai panaši į anksčiau minėtą „Toyota Yaris“. Pažeistas statramsčio išorinis profilis yra pjaunamas trijose vietose (2.8 a, b, c). Norint pasiekti vidinius statramsčio profilius, yra išpjaunami maždaug 100 mm ilgio segmentai. Vidiniai profiliai yra pjaunami 50 mm atstumu nuo išorinio profilio arba 150 mm atstumu nuo stogo konstrukcijos (2.8 pav. d).

Trečioji gamintojo pateikiama išardymo schema, pateikta 2.9 paveiksle, smarkiai skiriasi nuo prieš tai aprašytų. Minėtame paveiksle yra pateikta „Opel Astra J“ B – statramsčio išardymo schema. Šiuo atveju yra pjaunamas ir virinamas tik išorinis statramsčio profilis. Gamintojas rekomenduoja keisti visą vidinį stiprinantį profilį, nes jo suvirinimas galėtų ženkliai nusilpninti visą B – statramsčio konstrukciją.



2.9 pav. Automobilio „Opel Astra J“ B – statramsčio išardymo schema [32]

Dažnai automobilio kėbulo remontui nepakanka vien atskiros dalies pervirinimo. Po stipraus smūgio automobilio kėbulo geometrija gali būti iškreipta. Taigi reikia išmatuoti automobilio geometriją gamintojo žinyne nurodytuose taškuose (2.10 pav.) ir palyginti gautus duomenis su gamintojo nurodytais matmenimis. Jei kėbulo geometrija iškreipta, ji remontuojama, naudojant atitampymo standus ar kilnojamus atitampymo įrenginius. Standai paprastai susideda iš platformos, ant kurios yra tvirtinamas automobilio kėbulas ir hidraulinio jėgos įrenginio, kuris yra skirtas deformuotai kėbulo daliai atstatyti. Remontas geometrijos atstatymo standais yra greitas, efektyvus bei tikslus. Tačiau šis remonto būdas reikalauja žinių apie įrangą, kėbuluose naudojamas medžiagas ir matavimo priemones.



2.10 pav. „Toyota Yaris“ kėbulo geometrijos matavimo taškai [35]

Dažniausiai tik geometrijos atstatymo pakanka remontuojant automobilio priekinę dalį. Tačiau jei yra pažeisti statramsčiai, slenksčiai ar galinė kėbulo dalis, tai daugiau ar mažiau bus pažeista ir kėbulo geometrija. Kėbulo remontas dažnai susideda iš geometrijos atstatymo ir kėbulo dalies pervirinimo darbų. Dažnai užtenka tik išorinio profilio pervirinimo, bet jei pažeisti ir vidiniai elementai, tenka keisti ir juos.

2.3. Statramsčių paruošimas bandymams

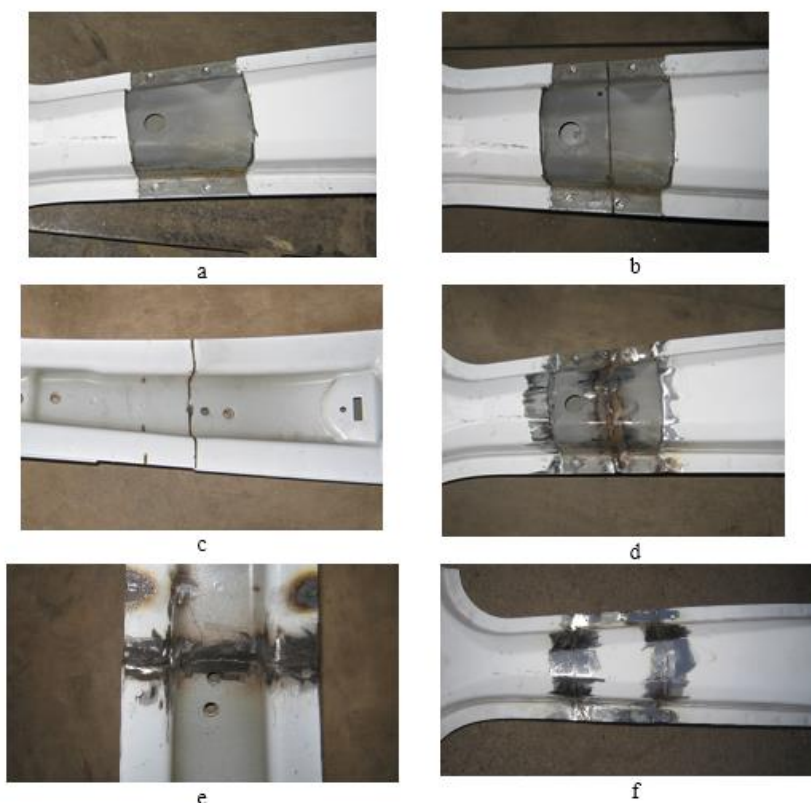
Statiniam B – statramsčio lenkimo bandymui buvo paruošta trijų tipų statramsčiai. Visi statramsčiai buvo išpjauti iš automobilių „Opel Astra J“ kėbulų su dalimi stogo konstrukcijos ir slenksčio. Pirmasis statramstis nebuvo remontuojamas, jis panaudojamas kaip kontrolinis, siekiant rezultatus, gautus bandymo metu, palyginti su remontuotomis konstrukcijomis. Pagal gamintojo nurodomą metodiką statramsčio remontas atliekamas keičiant visą vidinį statramsčio profilį. Taigi pirmasis variantas iš esmės atitinka ir gamintojo rekomenduojamą remonto metodiką.

Statramsčio profilių sujungimui buvo naudojamas lankinis suvirinimo būdas lydžiuoju elektrodu apsauginėje inertinių dujų (CO₂) aplinkoje, aprašytas 1.4 skyriuje. Profiliai buvo sujungiami NIMAK MAG 239/1 suvirinimo įrenginiu, naudojant vientisą ER70-S-6 suvirinimo vielą. Suvirinimo siūlės mechaninės charakteristikos, naudojant šią vielą, pateiktos 2.2 lentelėje.

Suvirinimo siūlės mechaninės charakteristikos

Apsauginė aplinka	100% CO ₂	98% Ar – 2% O ₂
Stiprumo riba, σ_u	480 MPa	580 MPa
Takumo riba, σ_y	410 MPa	520 MPa
Santykinis pailgėjimas, ϵ	0,27	0,22

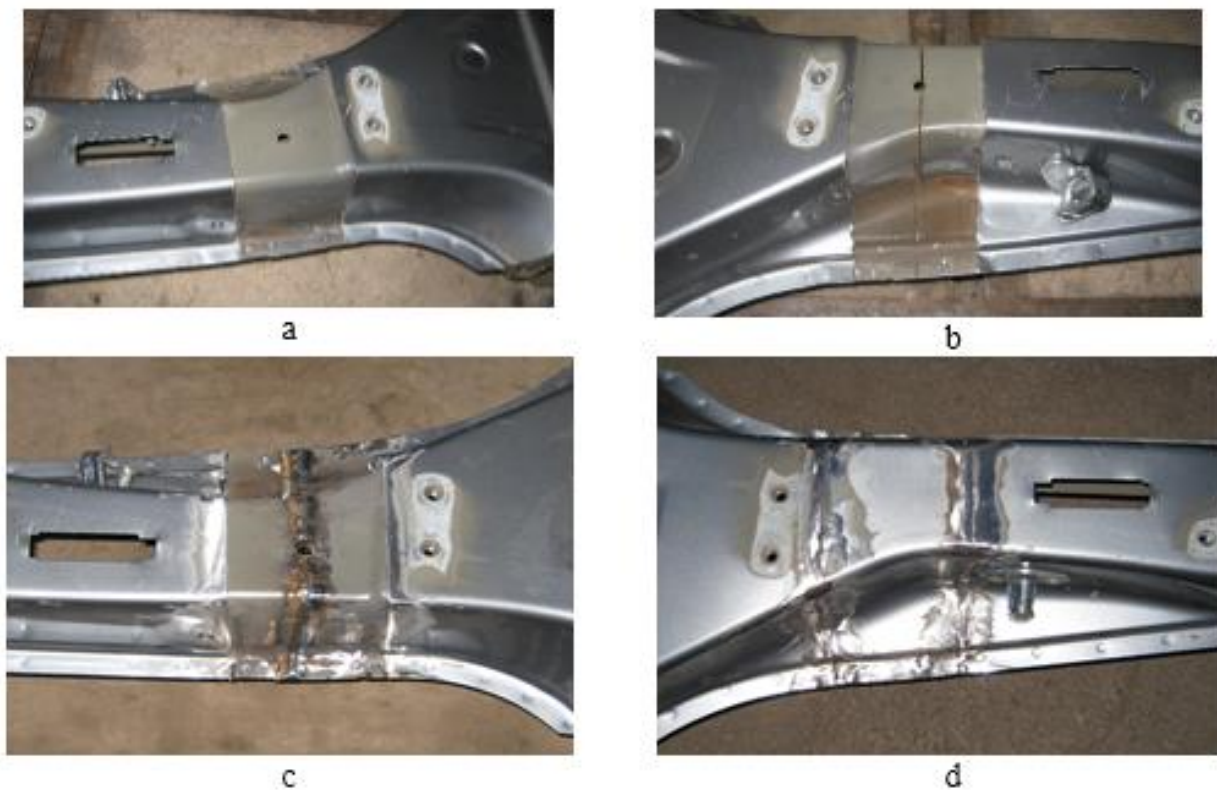
Pirmasis remonto būdas. Antrasis statramsčio paruoštas, pagal „Hyundai I30“ centrinio statramsčio remonto metodiką, paminėtą 2.2 skyriuje. Šis remonto būdas yra taikomas, keičiant stogo konstrukciją, arba apatinę statramsčio dalį, kai ji smarkiai apgadinta. Remontas prasidėjo nuo išorinio profilio taškinių sujungimų nugręžimo ir atpjovimo dviejose vietose, kad galėtume pasiekti vidinį statramsčio profilį (2.11 pav. a). Toliau buvo perpjauamas vidinis ir galinis statramsčio profiliai (2.11 pav. b, c). Pjūviai išdėstyti, remiantis gamintojo „Hyundai“ pateikta metodika. Išpjautas 100 mm ilgio išorinio profilio segmentas 200 mm atstumu nuo nurodytos vietos. Vidinis profilis buvo pjaunamas 50 mm atstumu nuo pirmojo pjūvio išoriniame profilyje. Galinis profilis atpjautas 50 mm atstumu nuo pjūvio, padaryto vidiniame profilyje. Vėliau visi padaryti pjūviai bei taškinio suvirinimo vietos buvo sujungti MIG suvirinimo būdu (2.11 pav. d), suvirinimo siūlės buvo nušlifuotos ir sulygintos su profilio paviršiumi.



2.11 pav. Antrojo statramsčio remonto seka: a – išpjauta išorinio profilio dalis; b – perpjautas vidinis profilis; c – perpjautas galinis profilis; d – suvirintas vidinis profilis; e – suvirintas galinis profilis; f – užvirintas išorinis profilis

Antrasis remonto būdas. Transporto priemonės kėbulo pažeidimai dažniausiai nėra remontuojami specializuotuose servizuose. Ne visos automobilių kėbulų remonto dirbtuvės turi reikiamą įrangą ir reikalingas žinias. Todėl trečiasis statramsčio buvo remontuojamas, neatsižvelgiant į gamintojų rekomenduojamas metodikas, tačiau buvo paisoma automobilių kėbulų remonto specifikos. Pjūviai išdėstyti taip, kad keičiamos detalės elementai tarpusavyje prasilenktų.

Siekiant pašalinti išorinio profilio elementą, buvo nugręžtos taškinio suvirinimo siūlės ir išpjautas 100 mm ilgio išorinio elemento segmentas (2.12 pav. a). Išorinis profilis pjautas 20 mm ir 120 mm atstumu nuo apatinio durų vyrio tvirtinimo vietos. Vidurinis statramsčio profilis pjautas 50 mm atstumu nuo išorinio profilio pjūvio vietos (2.12 pav. b). Pjaunant vidinį profilį, buvo perpjautas ir tvirtinimo elementas, prie kurio prisukami durų vyriai. Perpjauti profiliai, tvirtinimo elementas bei taškinio suvirinimo vietos buvo sujungtos suvirinimo būdu (2.12 pav. c), o sujungimo vietos nušlifotos ir sulygintos su profilio paviršiumi (2.12 pav. d). Kadangi tvirtinimo elementą pavyko suvirinti nepašalinus galinio statramsčio profilio, jo pjauti neprireikė.



2.12 pav. Trečiojo statramsčio remonto seka: a – išpjauta išorinio profilio dalis; b – perpjautas vidinis profilis; c – suvirintas vidinis profilis; d – suvirintas išorinis profilis

Statiniams lenkimo bandymams buvo paruošti trys statramsčiai. Du statramsčiai buvo pjaustomi ir suvirinami, imituojant du skirtingus remonto būdus. Vienas iš remontuotų statramsčių paruoštas pagal gamintojo rekomenduojamą metodiką. Kitas buvo paruoštas nepaisant siūlomos metodikos, tačiau atsižvelgiant į automobilių kėbulų remonto specifiką. Pjūvio vieta pasirinkta laisvai, ten kur statinio statramsčio konstrukcijos lenkimo metu bus orientuojama apkrova.

2.4. Automobilio B – statramsčio konstrukcijos lenkimo, apkraunant statiškai, tyrimas

Siekiant nustatyti, kokią įtaką automobilio centrinio statramsčio stiprumui turi remonto metu suvirinimo būdu padaryti sujungimai, buvo atlikti eksperimentiniai bandymai. Bandymų metu siekiama nustatyti gamyklinės ir remontuotų konstrukcijų mechaninių charakteristikų skirtumus pasyviosios saugos atžvilgiu.

Tyrimui buvo naudojamos trys vienodos B – statramsčio konstrukcijos, naudojamos automobilyje „Opel Astra“. Viena iš konstrukcijų atitinka gamyklinę, kitos – remontuotos pagal skirtingas metodikas (2.13 pav.).



a



b



c

2.13 pav. Statramsčių konstrukcijos naudojamos eksperimentiniuose bandymuose: a – gamyklinė konstrukcija; b – remontuota konstrukcija (suvirinta apačioje); c – remontuota konstrukcija (suvirinta viršutinėje dalyje)

Bandymams atlikti buvo naudojamas universalus hidraulinis presas su jėgos bei poslinkio jutikliais (2.14 pav.). Hidraulinio presu maksimali spaudžiamoji jėga 200 kN, cilindro eiga siekia 150 mm. Matavimo sistemą sudarė jutikliai, matuojamų dydžių keitikliai ir kompiuteryje įdiegta programinė įranga, fiksuojanti jėgos ir poslinkio reikšmes. Poslinkio reikšmėms fiksuoti buvo naudojamas poslinkio jutiklis PCM – 50 – S, kurio tikslumo klasė 0,2, matavimo tikslumas 0,001 mm, maksimalus poslinkio

greitis 5 mm/s. Pasiruošiant bandymui, buvo sukalibruotas jėgos jutiklis, kurio reikšmės buvo pateikiamos milivoltais (mV). Kalibravimo metu nustatytas ryšys tarp jutiklio pateikiamų reikšmių ir veikiančios jėgos.



a



b

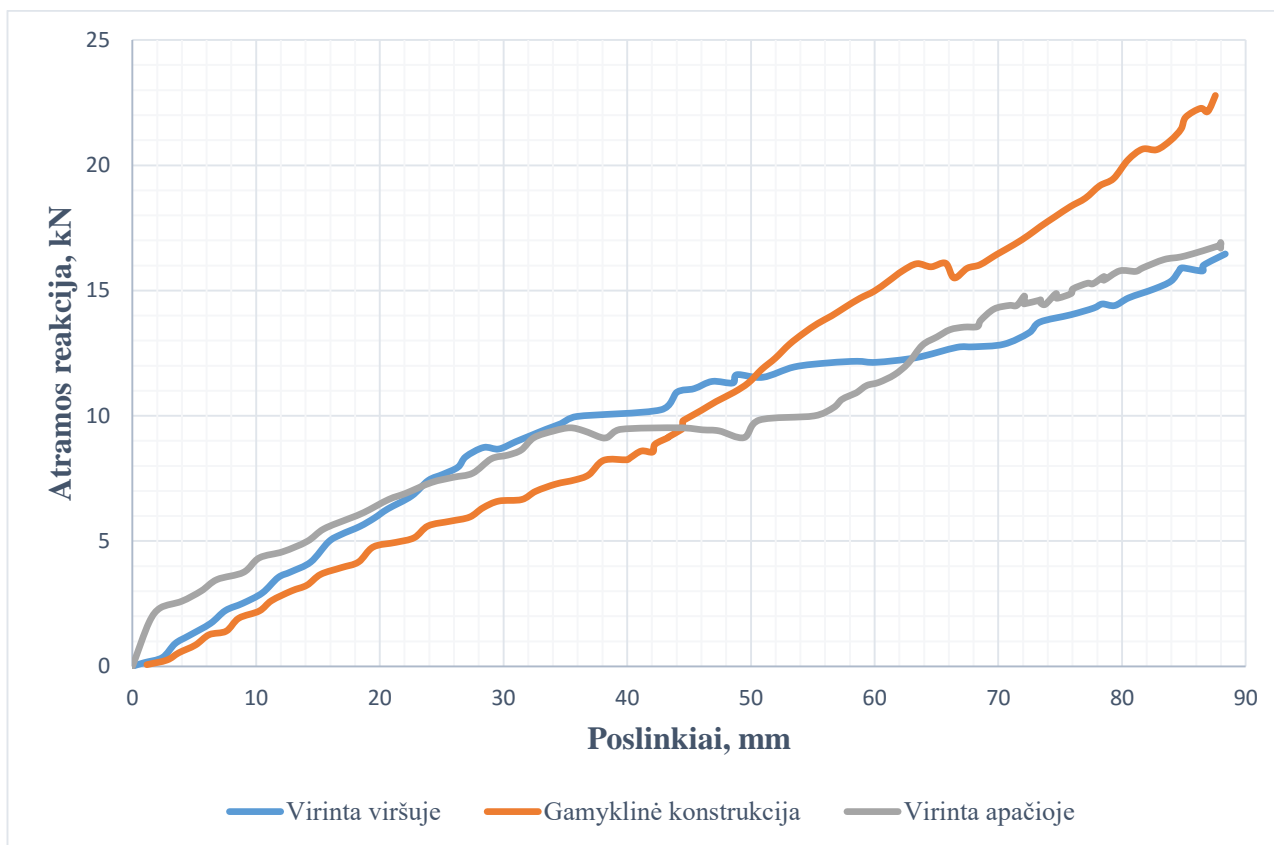
2.14 pav. Eksperimentinių bandymų sistema: a – universalus hidraulinis presas; b – poslinkio (1) ir jėgos (2) jutikliai

Eksperimentinio bandymo metu konstrukcija buvo orientuota taip, kad atsiremęs statramsčio galams, apkrova veiktų 90 laipsnių kampu į horizontalią konstrukcijos dalį. Statramstis buvo tvirtinamas taip, kad atsiremtų slenksčio ir stogo konstrukcijomis (2.15 pav. 1, 2). Tokiu būdu konstrukcijos lenkimo sąlygos yra panašios į B – statramsčio vientisoje automobilio konstrukcijoje. Apkrovos pridėjimo vieta (2.15 pav. 3) orientuojama 300 mm nuo slenksčio konstrukcijos. Abiejų statramsčio galų judėjimas suvaržytas taip, konstrukcijai deformuojantis, ji galėtų ilgėti. Likusiųjų statramsčio konstrukcijų orientavimo ir apkrovimo sąlygos buvo vienodos, siekiant išvengti skirtumų, nesusijusių su konstrukcijos profilių sujungimais.



2.15 pav. Statramsčio konstrukcijos apkrovimo schema: 1 – viršutinės dalies atrama; 2 – apatinės dalies atrama; 3 – hidraulinis spaudimo cilindras

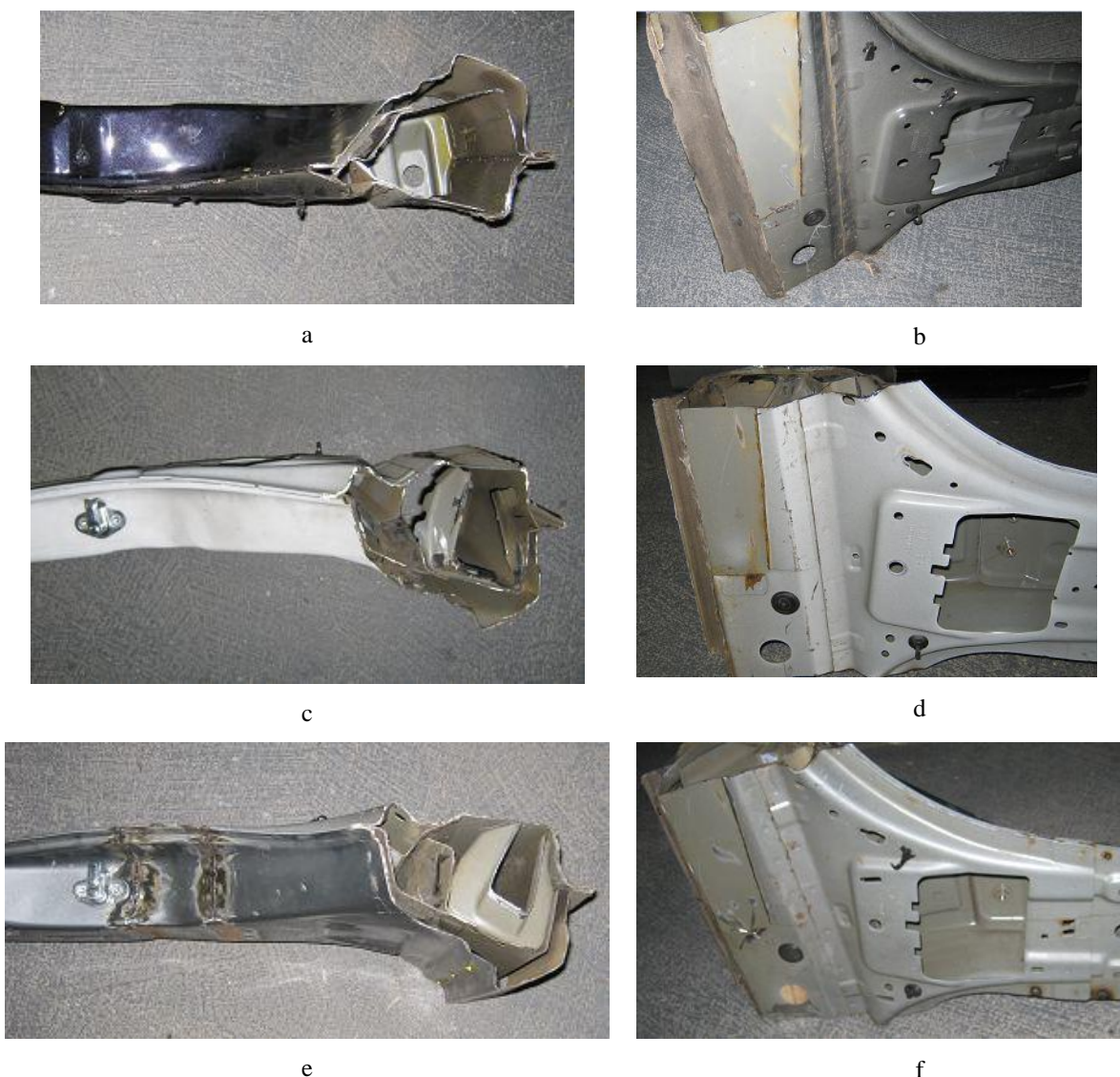
Pagal duomenis, gautus bandymų metu, sudaryta atramos reakcijos priklausomybė nuo cilindro eigos (2.16 pav.). Gautoje priklausomybėje matyti, kad visos trys konstrukcijos apkraunamos deformuojasi panašiai. Skirtumai gali atsirasti dėl matavimo priemonių paklaidų ar nevienodo slenksčio konstrukcijos deformavimosi. Tačiau gamykinę konstrukciją veikia didesnė atramos reakcija. Skirtumas matomas nuo 52 mm ribos, kur pastebimas greitesnis apkrovos didėjimas, negu kitose konstrukcijose. Taip pat diagramoje matome, kad atramos reakcijos didėjimas, lenkiant gamykinę konstrukciją, yra tolygesnis nuo 64 mm ribos. Ties šia reikšme atramos reakcijos vertė krenta dėl staigios slenksčio konstrukcijos deformavimosi ir vėliau nuo 67–68 mm tolygiai auga. Kalbėdami apie apatinėje dalyje virintą konstrukciją, pastebime, jog tarp 38–56 mm poslinkio reikšmių apkrova išlieka 9–10 kN ribose. Apkrovos dydis šiose ribose nekito dėl tolygaus slenksčio deformavimosi. Apkrovos reikšmės augimas prasidėjo, pradėjus linkti statramsčio profiliams. Palyginus atramos reakcijų reikšmes, esant 88 mm poslinkiui, matome, kad didžiausia reikšmė yra gamykinės konstrukcijos – 22,8 kN, kai remontuotų konstrukcijų apkrovos reikšmės siekia apie 16,8 kN.



2.16 pav. Atramos reakcijos priklausomybė nuo cilindro eigos

Nagrinėjant statramsčio konstrukcijos pakitimus po eksperimentinio bandymo, pavaizduotus 2.17 paveiksle, nustatyta, kad visos statramsčio konstrukcijos deformuotos panašiai. Labiausiai deformuota apatinė statramsčio dalis, kur jis susijungia su slenksčio konstrukcija. Statramsčio profiliai, jungiantys jį su slenksčio konstrukcija, buvo sulenkti, slenksčio profilis deformuotas (2.17 pav. b, d, f). Labiausiai pažeistas statramsčio, sujungto apatinėje dalyje, slenksčio profilis. Taip pat pastebimas statramsčio konstrukcijos išsigaubimas į vidinę jo pusę apatinėje statramsčio dalyje. Šis išsigaubimas būdingas

visoms bandytoms konstrukcijoms (2.17 pav. a, c, e). Išsigaubimas atsirado ne vien dėl sulinkusios slenksčio konstrukcijos, bet ir dėl statramsčių sudarančių profilių išlinkimo. Atsižvelgiant į apkrovos pridėjimo vietą, įtvirtinimo sąlygas bei statramsčių deformacijas, galima teigti, kad konstrukcijų deformavimosi pobūdis yra panašus į šoninio susidūrimo su kita transporto priemone.



2.17 pav. Automobilio statramsčio deformacijos: a, b – gamyklinė konstrukcija; c, d – virinta viršuje; e, f – virinta apačioje

Toliau nagrinėjant statramsčio konstrukcijos pakitimus po lenkimo bandymo, pastebėti nežymūs, virš viršutinio durų vairo tvirtinimo vietos atsiradę įlinkimai (2.18 pav.). Šie įlinkimai būdingi tik dviem konstrukcijoms: gamyklinei ir sujungtai viršutinėje dalyje. Gamyklinės konstrukcijos įlinkis minėtoje vietoje siekia 2 mm, o virintos viršuje – 1 mm. Konstrukcija, sujungta apatinėje dalyje, šioje vietoje išliko nepakitusi. Likę statramsčiai linko tolygiau, pradėjo tiesintis visa jų konstrukcija. Išmatavus kiekvienos konstrukcijos pailgėjimą, nustatyta, kad gamyklinė konstrukcija pailgėjo apie 20 mm, virinta viršuje – 17 mm ir virinta apačioje – 15 mm. Kadangi gamyklinė konstrukcija buvo veikiam didžiausios apkrovos, tai didžiausias jos pailgėjimas yra tikėtinas. Taip pat dėl mažiausių šios konstrukcijos slenksčio deformacijų didesnė dalis apkrovos teko pačio statramsčio profiliams.



a



b

2.18 pav. Statramsčio konstrukcijos įlinkiai: a – gamyklinė konstrukcija; b – virinta viršutinėje dalyje

Analizuojant suvirinimo siūles (2.19 pav.), po lenkimo bandymo, nepastebėta jokių smarkių pakitimų. Atidžiai apžiūrėjus, statramsčio sujungto apatinėje dalyje, vidinį profilį, ties sujungimo vieta taip pat nepastebėta jokių smarkių pakitimų. Galime sakyti, kad slenksčio profiliui deformuoti teko didžioji apkrovos dalis. Nė vienas iš profilių, sujungtų suvirinimo būdu, neatsiskyrė per suvirinimo siūles.



a



b

2.19 pav. Suvirinimo siūlės: a – statramsčio virinto apatinėje dalyje; b – virinto viršutinėje dalyje

Nagrinėjant statramsčio konstrukcijų pakitimus apkrovos pridėjimo vietoje (2.20 pav.), pastebėta, kad gamyklinė konstrukcija deformuota labiausiai, dėl didžiausios ją veikusios apkrovos. Gamyklinės konstrukcijos vidinis (stiprinantis) profilis įlinkęs apie 8 – 10 mm. Panašiai deformuotas ir statramstis su suvirinimo siūlėmis viršutinėje dalyje, tačiau vidinio profilio įlinkimo nepastebėta. Mažiausiai apkrovos pridėjimo vietoje buvo paveikta trečioji statramsčio konstrukcija (sujungta apatinėje dalyje).



a



b



c

2.20 pav. Apkrovos pridėjimo vieta: a – gamyklinė konstrukcija; b – virinta viršuje; c – virinta apačioje

Analizuojant profilių taškinis sujungimus ties apkrovos pridėjimo vieta, pastebėtas, nedidelis profilių susibangavimas (2.21 pav.). Tokio tipo susibangavimas yra būdingas konstrukcijoms, sudarytoms iš keleto profilių, kurie tarpusavyje sujungti taškinio suvirinimo būdu. Tačiau statramstis deformuotas per mažai, kad profiliai būtų atsiskyre taškinio sujungimo vietose.



a



b



c

2.21 pav. Profilių sujungimo vietos: a – gamyklinė konstrukcija; b – virinta viršuje; c – virinta apačioje

Siekiant nustatyti, kiek buvo sulenkta statramsčio konstrukcija, neskaitant slenksčio deformacijų, buvo išmatuotas konstrukcijos įlinkis pasirinktuose taškuose (2.22 pav.). Pirmasis pasirinktas taškas yra ties saugos diržo slankiklio tvirtinimo vieta (2.22 pav. 1), antrasis – ties viršutiniu durų vyriu (2.22 pav. 2) ir trečiasis – ties apkrovos pridėjimo vieta (2.22 pav. 3). Gauti duomenys bus lyginami su prieš tai išmatuotais, gamyklinės konstrukcijos matmenimis, prieš lenkimo bandymus. Pagal tai bus nustatyta, kiek įlinkės kiekvienas statramstis, minėtuose taškuose.



2.22 pav. Statramsčio įlinkio matavimo taškai

Analizuojant bandymų metu gautus duomenis sudaryta taškų poslinkių 2.3 lentelė.

2.3 lentelė

Konstrukcijos taškų poslinkiai

Taško numeris	Taško poslinkis, mm		
	Gamyklinė konstrukcija	Suvirinta viršuje	Suvirinta apačioje
1	12	9	7
2	24	15	11
3	30	21	18

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad daugiausia įlinkės yra gamyklinis statramstis. Taip yra, nes pastarąjį veikė didžiausia apkrova ir jo slenksčio profilis deformavosi mažiausiai. Statramstis su suvirinimo siūlėmis viršutinėje dalyje įlinko mažiau dėl didesnio slenksčio profilio deformavimosi. Mažiausiai įlinko statramstis su suvirinimo siūlėmis apatinėje jo dalyje. Šį statramstį veikė praktiškai vienoda apkrova, kaip ir suvirintą viršuje, tačiau jo slenksčio profilis deformavosi daugiausiai.

3. SKAITINIS MODELIAVIMAS

3.1. Automobilio B – statramsčio skaitinio modelio sudarymas

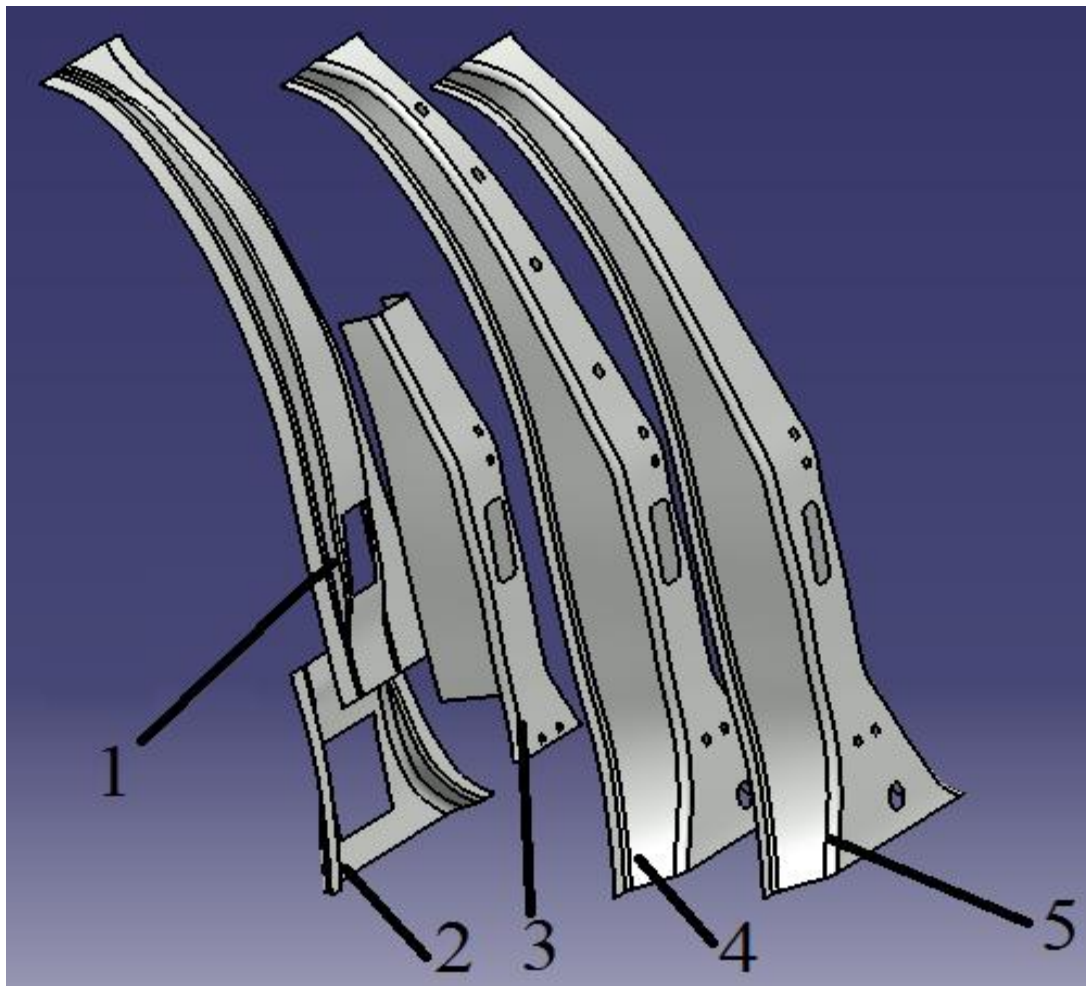
Norint užtikrinti automobilio pasyviają saugą, nustatomas B – statramsčio konstrukcijos atsparumas lenkimui. Sudarant konkretaus automobilio B – statramsčio CAD modelį, išnagrinėti minėto statramsčio konstrukciją sudarantys elementai. Tiriamas „Opel Astra J“ laikančiojo kėbulo statramstis, kuris išardomas, siekiant nustatyti jo konstrukciją sudarančius elementus bei jų matmenis (3.1 pav.).



3.1 pav. Statramsčio konstrukciją sudarantys elementai: a – išorinis profilis; b – vidinis (stiprinantis) profilis; c – tvirtinimo elementas; d – galinio profilio viršutinė dalis; e – galinio profilio apatinė dalis.

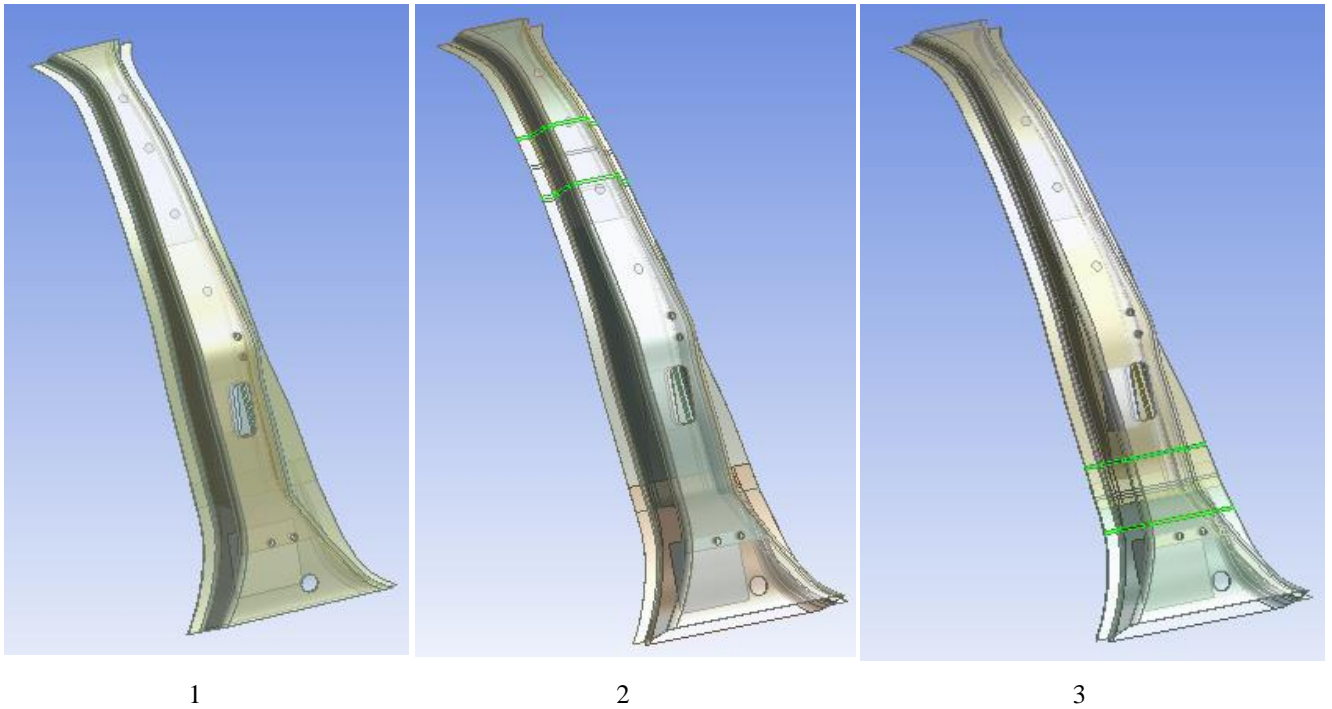
Statramsčio konstrukciją sudaro penki elementai, kurie tarpusavyje yra sujungti taškinio suvirinimo būdu. Pagrindinis B – statramsčio elementas yra vidinis jo profilis, kuris sustiprina visą konstrukciją (3.1 pav. b). Tvirtinimo elementas (3.1 pav. c) yra sujungtas tik su vidiniu statramsčio profiliu, kuris skirtas durų vyriams tvirtinti. Galinis statramsčio profilis sudarytas iš dviejų atskirų dalių (3.1 pav. d, e), kurios tarpusavyje sujungtos taškinio suvirinimo būdu.

Pagal duomenis, gautus išardžius minėtą B – statramstį, buvo sudaromas CAD modelis. Statramsčio modelį sudarantys elementai atitinka realią statramsčio konstrukciją. Modelis sudaromas programinio paketo „CATIA V5“ pagalba. Visi CAD modelio konstrukciją sudarantys elementai yra pavaizduoti 3.2 paveiksle.



3.2 pav. B – statramsčių sudarantys elementai: 1 – galinio profilio viršutinė dalis; 2 - galinio profilio apatinė dalis; 3 – tvirtinimo elementas; 4 – vidinis profilis; 5 – išorinis profilis

Siekiant nustatyti automobilio B – statramsčio remonto metu suvirinamų siūlių išdėstymo įtaką jo konstrukcijos stiprumui, sudaryti skirtingi skaitiniai modeliai. Pirmasis modelis (3.3 pav. 1) atitinka gamyklinę statramsčio konstrukciją, antrasis virintas viršuje, o trečiasis – apačioje. Antrojo statramsčio modelis (3.3 pav. 2), sudarytas pagal 2.2 skyriuje aprašytą pirmąjį remonto būdą, kai remontuojama suvirinant viršutinėje statramsčio dalyje, nurodytos metodikos. Skiriasi tik tai, kad profiliuose vietoje suvirinimo siūlių buvo įterpiama medžiaga, atitinkanti suvirinimo siūlės medžiagos mechanines charakteristikas. Trečiasis B – statramsčio modelis (3.3 pav. 3), buvo sudaromas pagal 2.2 skyriuje aprašytą antrą remonto būdą, kai statramsčio yra pjaunamas apatinėje dalyje. Abiem atvejais, pasirinkti 5 mm pločio intarpai. Tokio pločio intarpai pasirinkti siekiant imituoti ne tik suvirinimo siūlės, bet ir terminio poveikio zoną, susidarantią dėl sujungimo suvirinimo būdu.



3.3 pav. Skaitinių B – statramsčio modelių variantai: 1 – standartinio statramsčio modelis; 2 – remontuotas pagal gamintojo numatytą metodiką; 3 – remontuotas laisvai pasirinkus suvirinimo vietą

Skaičiuojamųjų modelių sudarymui reikėjo nustatyti realioje B – statramsčio konstrukcijoje naudojamų medžiagų mechanines charakteristikas. Tai buvo padaryta atliekant natūrinius tempimo bandymus, naudojantis universaliomis tempimo staklėmis. Bandymų metu nustatytos kiekvieno statramsčio konstrukciją sudarančio profilio mechaninės medžiagų charakteristikos pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė

Plienu mechaninės charakteristikos

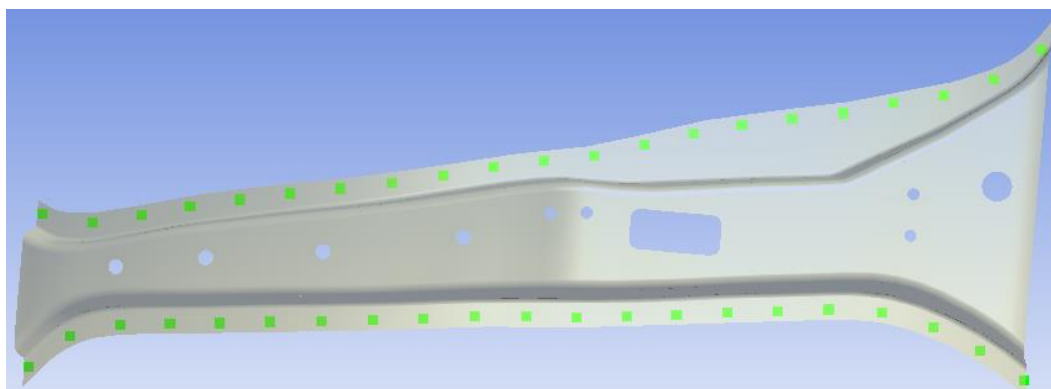
Profilis	ρ , kg/m ³	σ_y , MPa	σ_u , Mpa	E , Gpa	ν
Išorinis	7860	270	300	205	0,3
Vidinis	7860	1400	1540	205	0,3
Tvirtinimo	7860	300	350	205	0,3
Galinis	7860	530	630	205	0,3

Taip pat natūrinių bandymų metu nustatyta ir suvirinimo siūlių mechaninės charakteristikos. Tai buvo padaryta, atliekant tempimo bandymus, naudojant suvirintus kiekvieno profilio bandinius. Natūrinių bandymų metu gauti duomenys pateikti 3.2 lentelėje. Šie duomenys bus panaudoti sudarant remontuotų B – statramsčio skaičiuojamuosius modelius. Medžiagų savybės bus priskiriamos intarpams kiekviename profilyje, siekiant imituoti suvirinimo siūles.

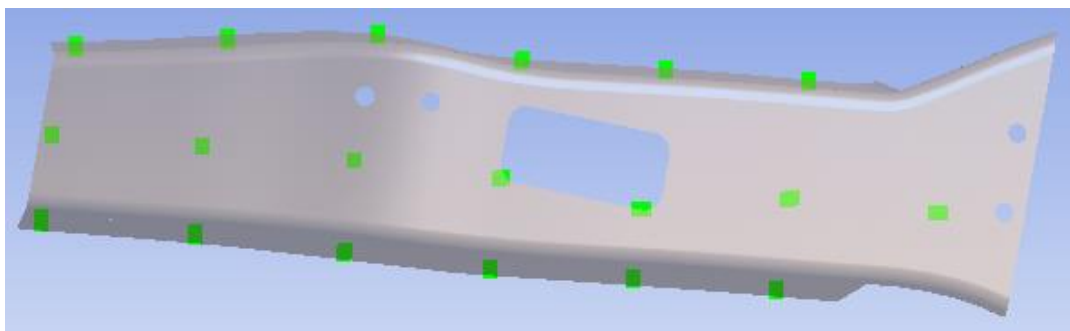
Virintų plieno bandinių mechaninės charakteristikos

Profilis	ρ , kg/m ³	σ_y , MPa	σ_u , MPa	E , GPa	ν
Išorinis	7860	275	300	205	0,3
Vidinis	7860	370	390	205	0,3
Tvirtinimo	7860	150	160	205	0,3
Galinis	7860	270	290	205	0,3

Skaitinis modelis sudarytas, naudojantis programiniu paketu „ANSYS Workbench“. Bendras konstrukcijos ilgis yra 0,975 m. B – statramsčio konstrukciją sudarantys elementai sujungiami tarpusavyje taškinio suvirinimo būdu (*Spotweld*). Sujungimo taškai išdėstomi kas 50 mm konstrukcijos kraštuose (3.5 pav. a), tvirtinimo elementui, kas 70 mm (3.5 pav. b).



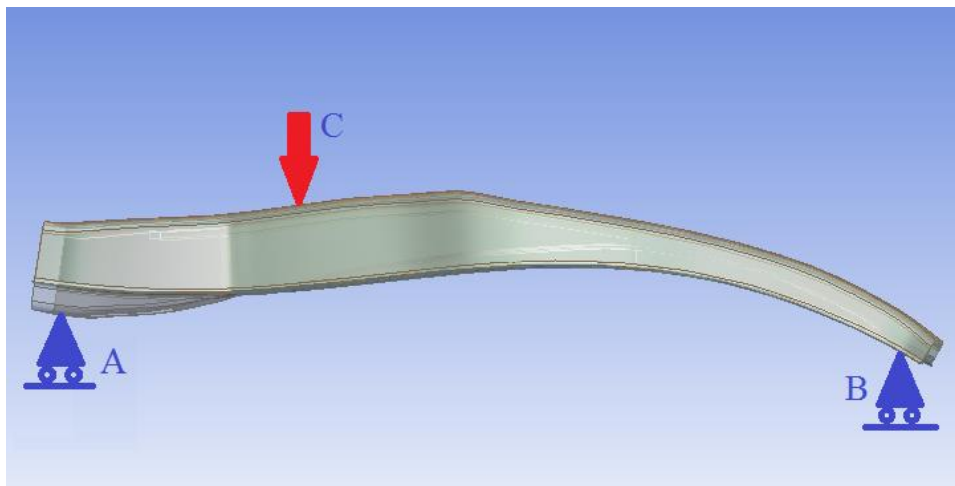
a



b

3.4 pav. Taškinio sujungimo išdėstymas

Automobilio B – statramsčio modelio įtvirtinimo ir apkrovimo sąlygos pavaizduotos 3.5 schemoje. Abu statramsčio konstrukcijos galai įtvirtinami taip, kad galėtų laisvai judėti viena kryptimi. Taip statramstis lenkiamas ilgėja.



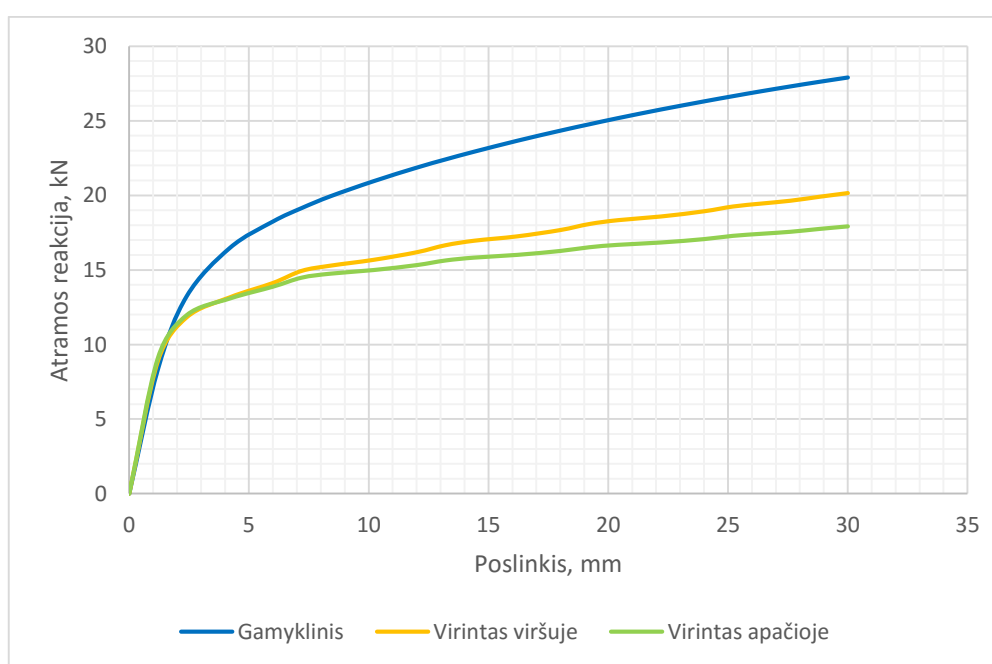
3.5 pav. Principinė statramsčio lenkimo schema: a – apatinė statramsčio dalis apribota slenkamuoju judesiu; b – viršutinė statramsčio dalis apribota slenkamuoju judesiu; c - apkrova

Apkrovos pridėjimo vieta pasirinkta ne atsitiktinai, tai padaryta remiantis Euro NCAP šoninio smūgio badymų metodika. Vežimėlio deformuojamo barjero, kuriuo yra smūgiuojama į automobilio šoninę dalį, aukštis yra 550 mm. O smūgio metu barjero apatine dalimi yra kliudomas automobilio slenkstis, tai apkrovos veikimo vieta parenkama 550 mm ribose nuo slenkščio konstrukcijos.

Konstrukcija yra apkraunama 300 mm atstumu nuo slenkščio, pastarąją veikiant kietu kūnu. Minėto kūno poslinkis apibrėžiamas x kryptimi, sprendžiamas kvazistatinis uždavinys. Spaudžiančiam kūnui užduotas 30 mm poslinkis x kryptimi, atsižvelgus į maksimalius statramsčių įlinkius natūrinių bandymų metu, kadangi skaitiniame modelyje neįvertinama slenkščio konstrukcija.

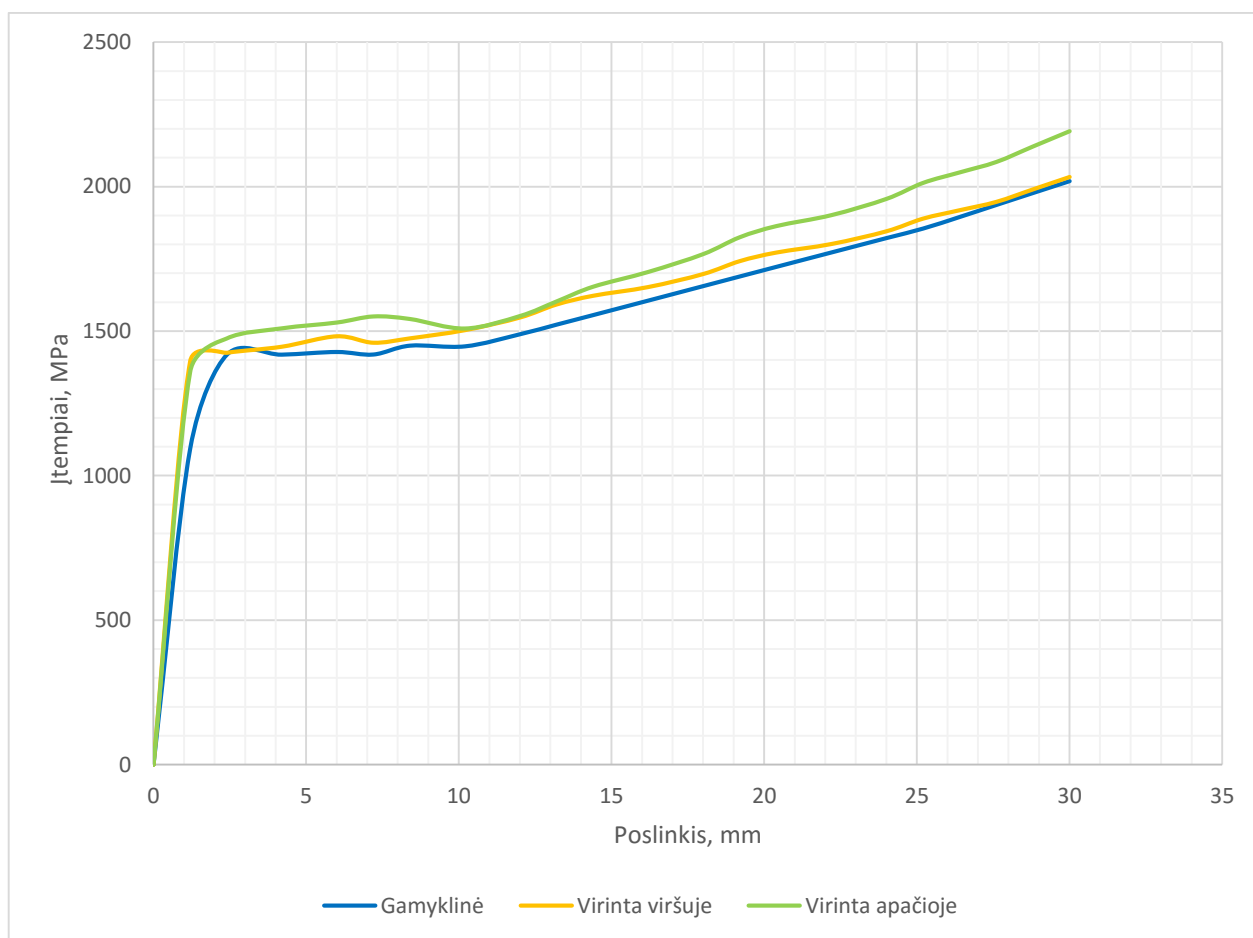
3.2. Skaitinio modelio rezultatų analizė

Pagal duomenis, gautus kvazistatinių BE modelių analizės metu, sudarytas atramos reakcijos priklausomybės grafikas nuo spaudžiančio kūno poslinkio, kuris yra pavaizduotas 3.7 paveiksle.



3.7 pav. Atramos reakcijos priklausomybė nuo poslinkio

Iš grafiko matyti, kad tolygiausiai kinta gamyklinės konstrukcijos atramos reakcijos reikšmės. Kitų konstrukcijų atramos reakcijų reikšmės šiek tiek svyruoja. Didžiausia atramos reakcija yra pasiekama esant 30 mm spaudžiančio kūno poslinkiui. Pastebėta, kad gamyklinės konstrukcijos maksimali atramos reakcijos reikšmė – 28 kN yra gerokai didesnė negu remontuotų konstrukcijų. Antrojo modelio su imituojamomis suvirinimo siūlėmis viršutinėje dalyje maksimali atramos reakcija yra 20 kN. Mažiausia atramos reakcija yra modelio su imituojamomis suvirinimo siūlėmis apatinėje dalyje, kurios reikšmė yra 18 kN. Pagal gautus atramos reakcijų skirtumus, galima teigti, kad suvirinimo siūlės turi didelę įtaką bendram konstrukcijos stiprumui. Gamyklinė konstrukcija yra 40 % stipresnė už suvirintą viršutinėje dalyje ir 55 % stipresnė už suvirintą apatinėje dalyje.

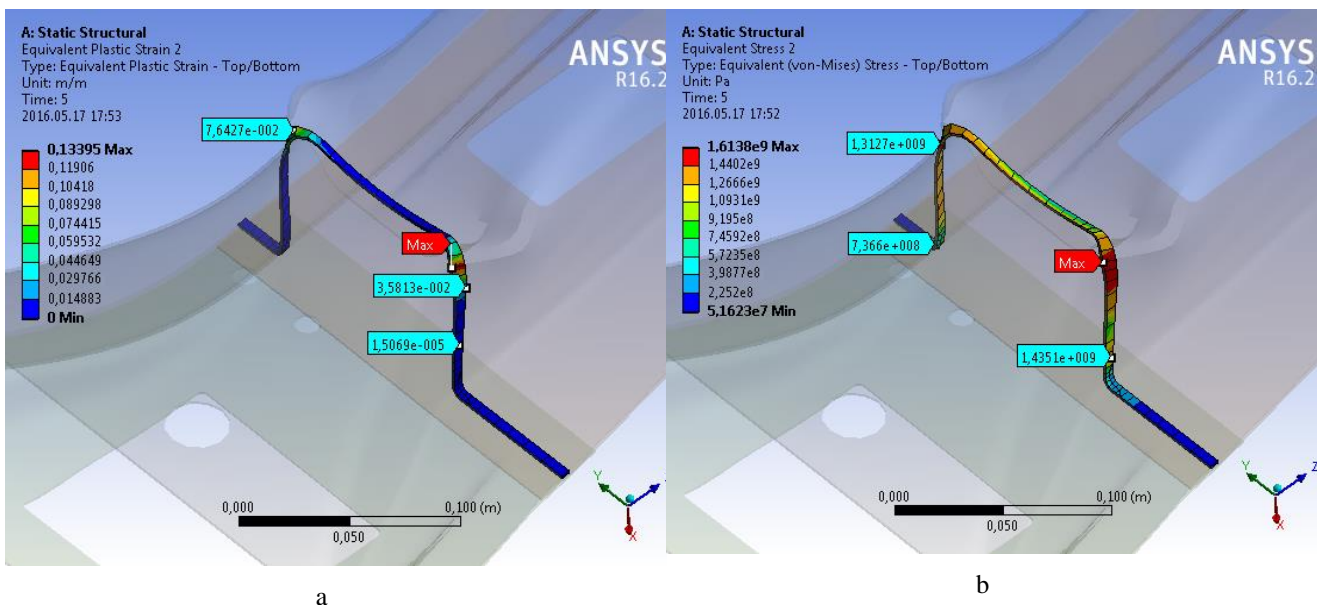


3.8 pav. Įtempių priklausomybė nuo poslinkio

Taip pat buvo sudarytas įtempių priklausomybės nuo poslinkio grafikas, pavaizduotas 3.8 paveiksle. Mažiausios įtempių reikšmės gaunamos gamyklinėje konstrukcijoje, o didžiausia reikšmė – 2192 MPa, konstrukcijoje suvirintoje apatinėje dalyje. Didžiausi gamyklinės ir suvirintos viršutinėje dalyje įtempiai siekia apie 2000 MPa. Žinodami statramsčio profilių medžiagų mechanines charakteristikas, galime teigti, kad ties 1 – 2 mm poslinkio verte prasideda plastinės vidinio statramsčio profilio deformacijos, nuo 10 mm poslinkio vertės įtempių reikšmės pradeda toliau tolygiai kilti.

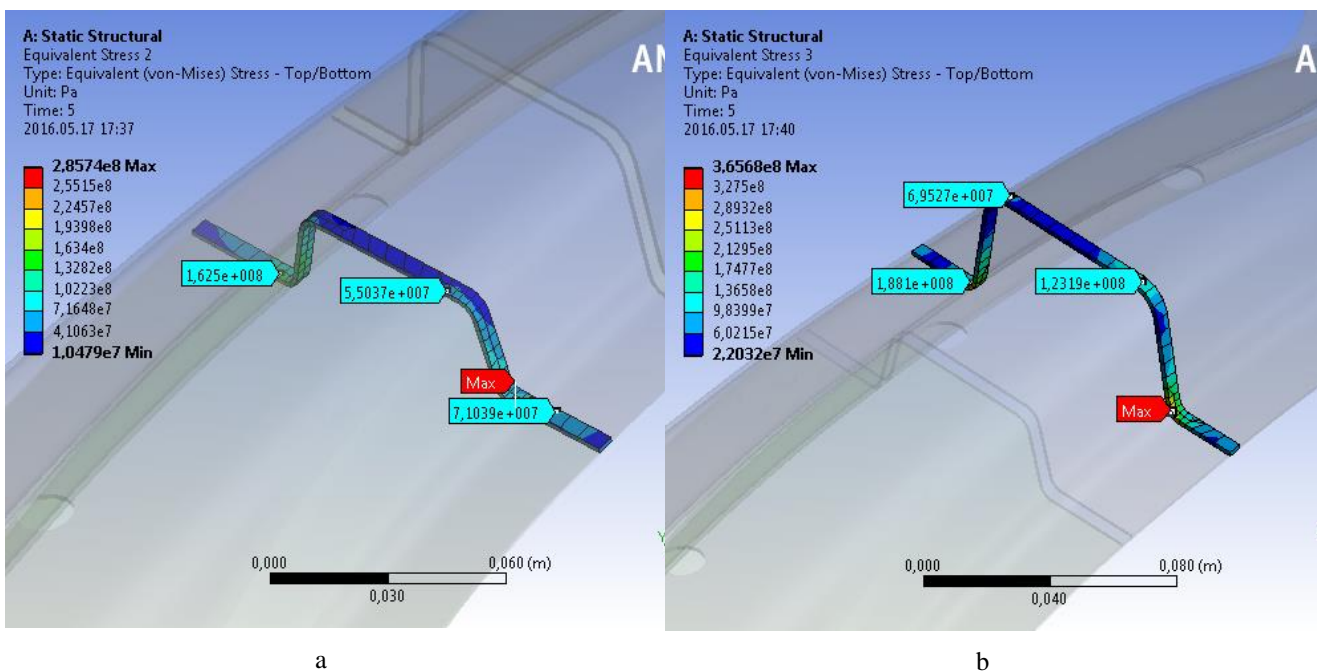
Modelio, kuris yra sujungtas apatinėje dalyje, intarpo, atitinkančio suvirinimo siūlės mechanines charakteristikas, didžiausi įtempiai bei deformacijos pavaizduotos 3.8 paveiksle. Didžiausios plastinės

deformacijos vidinio profilio intarpe 0,13395, didžiausia įtempių reikšmė – 1614 MPa. Deformacijos bei įtempiai koncentruojasi ties intarpo užapvalinimu, kur jis kontaktuoja su spaudžiančiu kūnu. Kadangi buvo viršyta intarpo stiprumo riba, tai jis atitrūko nuo profilio.



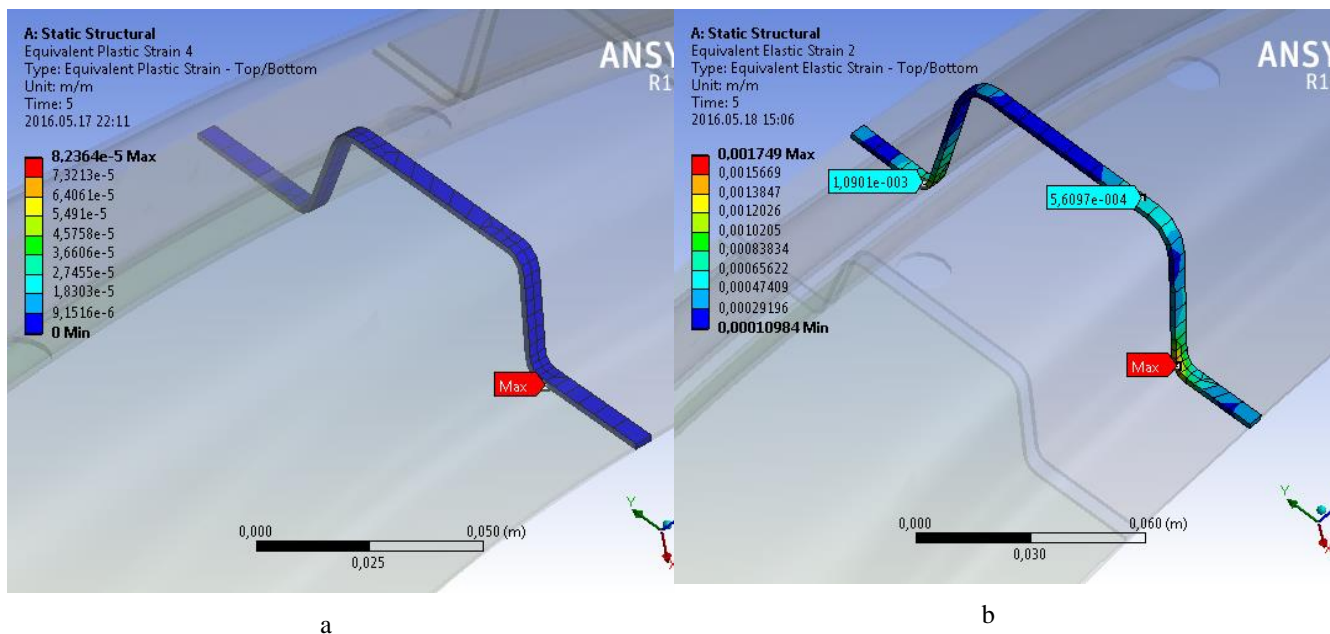
3.8 pav. Sujungto apačioje modelio vidinio profilio intarpai atitinkantys suvirinimo siūles: a – didžiausios deformacijos; b – didžiausi įtempiai

Paveiksle 3.9 yra pavaizduota suvirinto viršutinėje dalyje modelio vidinio ir galinio profilių intarpuose susidarantys įtempiai. Didžiausi įtempiai susidarė vidinio profilio intarpe yra 348 MPa, o galinio profilio intarpe 273 MPa. Įtempiai koncentruojasi ties intarpo užapvalinimu, galinėje statramsčio profilio dalyje. Todėl, kad lenkiant statramsčio profilius yra tempiamas galinis profilio paviršius. Kadangi buvo viršyta intarpo stiprumo riba, tai jis atitrūko nuo profilio.



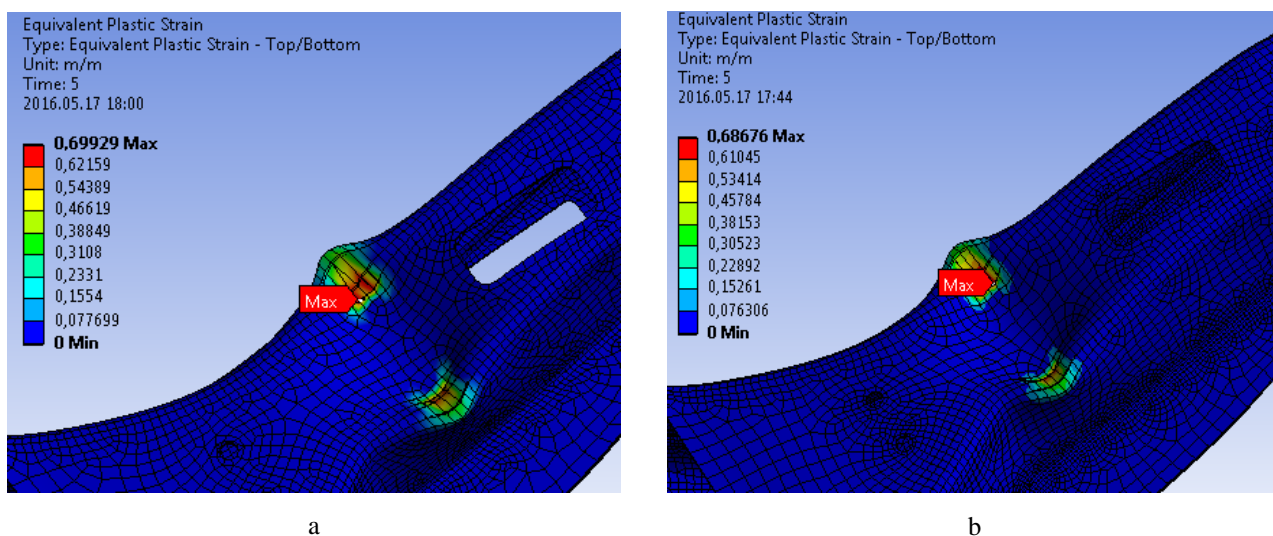
3.9 pav. Viršuje sujungto modelio intarpai atitinkantys suvirinimo siūles: a – galinio profilio intarpo didžiausi įtempiai; b – vidinio profilio intarpo didžiausi įtempiai

Paveiksle 3.10 yra pavaizduotos viršutinėje dalyje sujungto profilio intarpų deformacijos. Galinio profilio intarpas deformuojasi plastiškai, didžiausia plastinių deformacijų reikšmė yra $8,236 \cdot 10^{-5}$. Vidinio profilio intarpas plastiškai nesideformuoja dėl didesnės takumo ribos reikšmės, taigi pateikiamos elastinių deformacijų reikšmės. Kaip matyti 3.10 b paveiksle, didžiausia elastinių deformacijų reikšmė yra 0,001749, deformacijos koncentruojasi galinėje profilio dalyje, ties užapvalinimu.



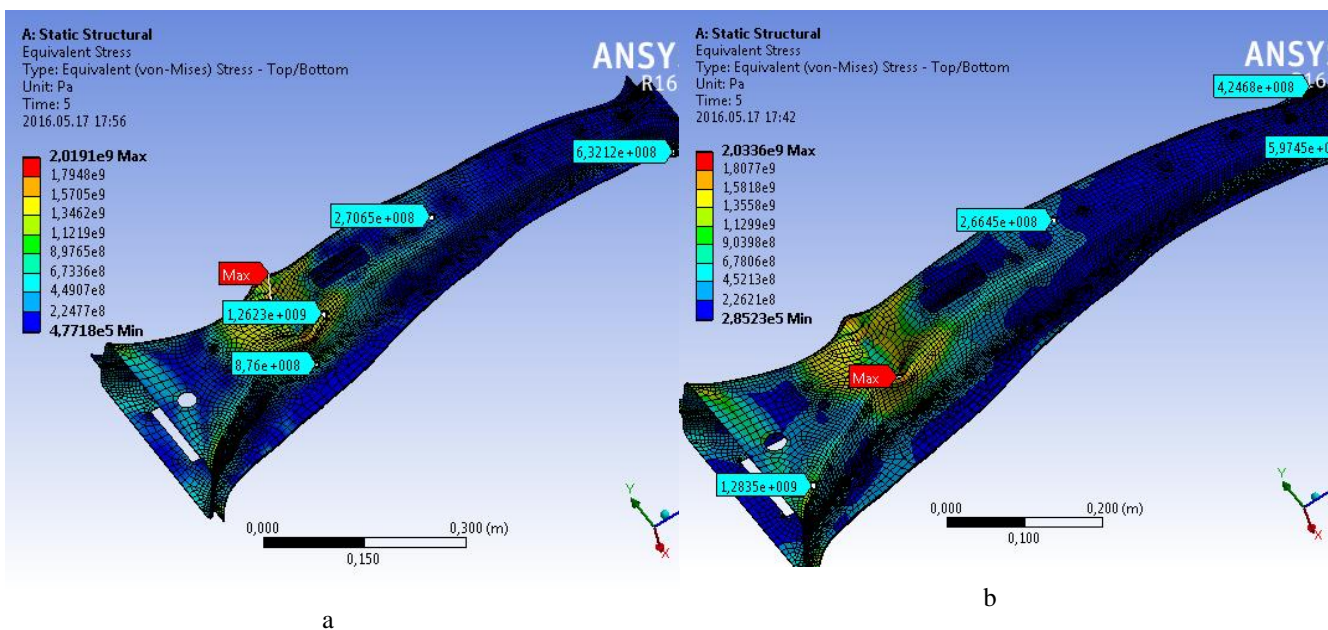
3.10 pav. Viršuje sujungto statramsčio intarpai: a – galinio profilio plastinės deformacijos; b – vidinio profilio elastinės deformacijos

Skaičiuojamųjų modelių plastinės deformacijos yra pavaizduotos 3.11 pav. Gamyklinio ir sujungto viršutinėje dalyje statramsčių modeliuose plastinės deformacijos susiformavo vietoje, kur veikė apkrova, tai yra ties profilio užapvalinimu, šioje vietoje koncentruojasi ir didžiausi įtempiai. Gamyklinės konstrukcijos modelio didžiausios deformacijos yra 0,699, sujungto viršutinėje dalyje – 0,686.



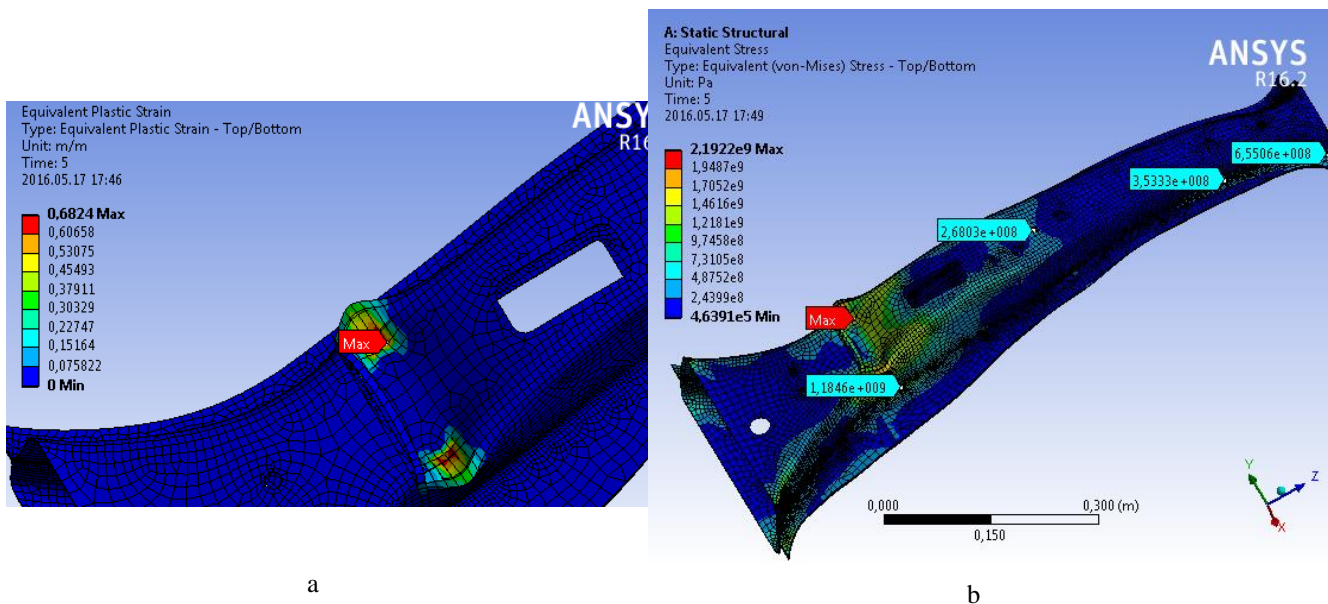
3.11 pav. B – statramsčio modelių plastinės deformacijos: a – gamyklinės konstrukcijos; b – sujungtos viršutinėje dalyje

Įtempių pasiskirstymas modelių, atitinkančių gamyklinę bei sujungtą viršutinėje dalyje B – statramsčio konstrukcijas, pasiskirstymas pateiktas 3.12 paveiksle.



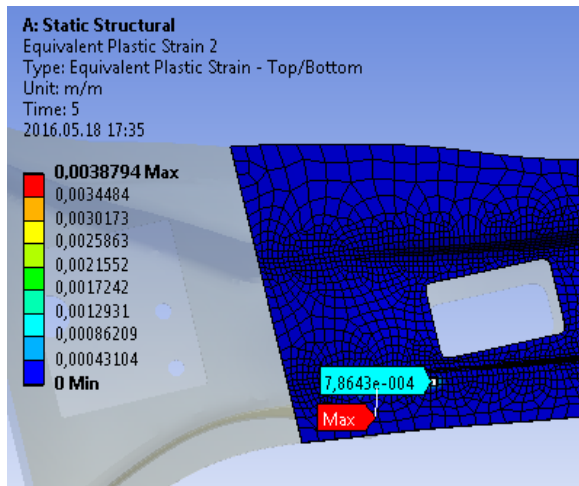
3.12 pav. B – statramsčio modelių įtempių pasiskirstymas: a – gamyklinės konstrukcijos; b – sujungtos viršutinėje dalyje

Tiek gamyklinės konstrukcijos, tiek sujungtos viršutinėje dalyje įtempių pasiskirstymas yra panašus. Įtempiai koncentruojasi statramsčio profilio apkrovos vietoje. Didžiausia gamyklinės konstrukcijos įtempių reikšmė yra 2019 MPa, sujungtos viršutinėje dalyje – 2033 MPa. Viršutinėje statramsčio modelio dalyje, ties įtvirtinimu, įtempiai abiejuose modeliuose siekia apie 600 MPa.

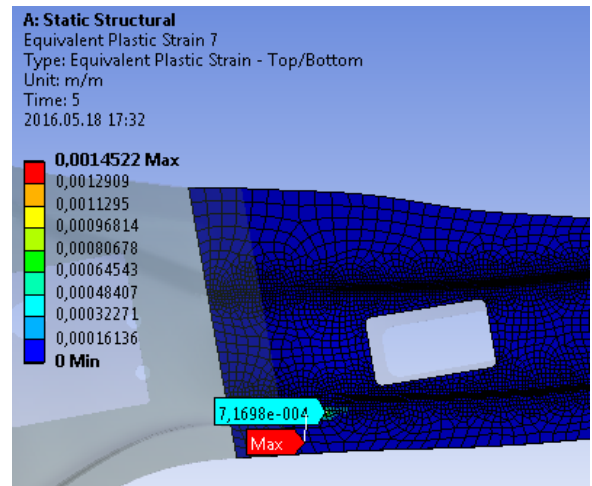


3.13 pav. Sujungto apatinėje dalyje statramsčio modelis: a – plastinės deformacijos; b – įtempių pasiskirstymas

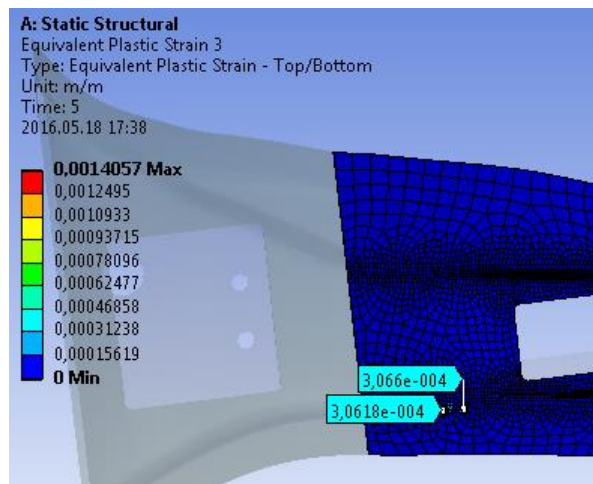
B – statramsčio modelio, sujungto apatinėje dalyje, deformacijų bei įtempių pasiskirstymas yra pavaizduotas 3.13 paveiksle. Įtempiai koncentruojasi profilio kraštuose ir viršutinėje profilio dalyje, virš intarpo. Intarpas atitrūksta nuo profilio, ir kūnas, kuriuo yra perduodama apkrova, spaudžia profilio dalį virš jo. Didžiausia plastinių deformacijų reikšmė siekia 0,6824, o įtempių 2192 MPa.



a



b



c

3.14 pav. Statramsčio konstrukcijų galinio profilio plastinės deformacijos: a – gamyklinės konstrukcijos; b – sujungtos viršutinėje dalyje; c – sujungtos apatinėje dalyje

Paveiksle 3.14 yra pavaizduota visų statramsčio skaitinių modelių galinio profilio viršutinės dalies plastinių deformacijų pasiskirstymas. Visais trimis atvejais plastinės deformacijos koncentruojasi ten pat, ties apkrovos pridėjimo vieta. Didžiausios plastinių deformacijų reikšmės gamyklinės – konstrukcijos – 0,00388, sujungtos viršutinėje dalyje – 0,00145, sujungtos apatinėje dalyje – 0,00141.

DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS

Atlikti tempimo bandymai medžiagų mechaninėms charakteristikoms nustatyti, kuriems buvo paruošta 17 bandinių iš skirtingų statramsčio profilių pagal LST EN ISO 6892-1:200 standartą. Norint nustatyti ir suvirinimo siūlės mechanines charakteristikas, buvo paruošti ir virinti bandiniai. Atlikus tempimo bandymą, iš gautų duomenų siekiama nustatyti takumo σ_y ir stiprumo σ_u ribas. Lyginant duomenis, gautus eksperimentinių bandymų metu, nustatyta, kad bandinio, išpjauto iš vidinio (stiprinančio) statramsčio profilio, stiprumo riba tempiant sumažėja 4 kartus, jį sujungus suvirinimo būdu. Taigi galime spręsti, kad sujungimas suvirinimo būdu smarkiai įtakos visos konstrukcijos stiprumą.

Siekiant nustatyti, kokią įtaką automobilio centrinio statramsčio stiprumui turi remonto metu suvirinimo būdu padaryti sujungimai, buvo atlikti eksperimentiniai bandymai. Visos trys konstrukcijos apkrautos deformuojasi panašiai, tačiau gamyklinę konstrukciją veikia didesnė atramos reakcija. Palyginus gautus rezultatus, apskaičiuota, kad gamyklinę konstrukciją veikianti apkrova yra 36 % didesnė. Atsižvelgiant į apkrovos pridėjimo vietą, įtvirtinimo sąlygas bei statramsčių deformacijas, galima teigti, kad konstrukcijų deformavimosi pobūdis yra panašus į šoninio susidūrimo metu atsirandančius pažeidimus.

Analizuojant duomenis, gautus skaitinio modeliavimo metu, nustatyta, kad gamyklinės konstrukcijos maksimali atramos reakcijos reikšmė – 28 kN, kai sujungtos viršutinėje dalyje – 20 kN ir sujungtos apatinėje dalyje – 18 kN. Gamyklinė konstrukcija yra 40 % stipresnė už suvirintą viršutinėje dalyje ir 55 % stipresnė už suvirintą apatinėje dalyje. Didžiausi įtempiai ir deformacijos koncentruojasi apkrovos pridėjimo vietoje.

Palyginus duomenis, gautus skaitinio modeliavimo metu, su eksperimentinių bandymų duomenimis, apskaičiuota, kad rezultatai vidutiniškai skiriasi apie 14 %. Nustatyta, kad abiem atvejais silpniausia yra statramsčio konstrukcija, sujungta apatinėje dalyje. Apibendrinami gautus rezultatus, galime sakyti, kad B – statramsčio remontas, turi didelę įtaką bendram statramsčio konstrukcijos stiprumui, o tuo pačiu ir pasyviajai automobilio saugai.

Yra daug darbų, kuriuose tiriamas B – statramsčio stiprumas, tačiau juose didesnis dėmesys yra skiriamas būdams sustiprinti statramsčio konstrukciją. Tai daroma panaudojant papildomus stiprinančius elementus ar statramsčio konstrukcijoje naudojant kompozitines medžiagas. Remonto įtaka statramsčio konstrukcijos stiprumui praktiškai nenagrinėjama.

Tęsiant šį darbą, norint gauti tikslesnius rezultatus ir įvertinti žalą slenksčio bei stogo konstrukcijoms, reikėtų visos automobilio šoninės konstrukcijos skaitinio modelio. Siekiant įvertinti, kaip konstrukcija deformuotųsi smūgio metu, galima atlikti dinامينius skaičiavimus. Taip pat, apskaičiuoti ir palyginti gamyklinės ir remontuotų konstrukcijų energijos sugėrimą.

IŠVADOS

1. Eksperimentinių bandymų metu nustatyta kiekvieno statramsčio konstrukciją sudarančio profilio medžiagų bei suvirinimo siūlių mechaninės charakteristikos. Palyginus duomenis, gautus eksperimentinių bandymų metu, nustatyta, kad bandinio, išpjauto iš vidinio (stiprinančio) statramsčio profilio, stiprumo riba tempiant sumažėja 4 kartus jį sujungus suvirinimo būdu.
2. Išanalizavus gamintojo rekomenduojamas B – statramsčio išardymo bei remonto metodikas, buvo paruoštos dvi remontuotos statramsčio konstrukcijos. Viena konstrukcija buvo remontuojama suvirinant statramsčio profilius viršutinėje dalyje, kita – suvirinama ties apkrovos pridėjimo vieta.
3. Atlikus eksperimentinius statramsčių lenkimo bandymus, nustatyta, kad remontuotos konstrukcijos deformuojasi santykinai vienodai. Lyginant rezultatus, gautus eksperimentinio bandymo metu, apskaičiuota, kad esant maksimaliam poslinkiui, gamyklinę konstrukciją veikianti atramos reakcija yra 36 % didesnė negu remontuotų konstrukcijų.
4. Sudaryti trys skirtingi skaičiuojamieji modeliai, apskaičiuotos atramų reakcijų, įtempių bei plastinių deformacijų reikšmės.
5. Palyginus skaičiuojamųjų modelių rezultatus, nustatyta, kad gamyklinė konstrukcija yra 40 % stipresnė už sujungtą viršutinėje dalyje ir 55 % stipresnė už sujungtą apatinėje dalyje. Gauti rezultatai rodo, kad silpniausia yra trečioji B – statramsčio konstrukcija, su suvirinimo siūlėmis apatinėje dalyje.
6. Eksperimentinio tyrimo rezultatai nuo skaitinio modelio vidutiniškai skiriasi apie 14 %. Tam įtakos turi tai, kad skaitiniu modeliu nėra yra įvertinamos papildomos slenksčio profilio deformacijos.
7. Nustatyta, kad abiem atvejais silpniausia yra statramsčio konstrukcija, suvirinta apatinėje dalyje. Apibendrinami gautus rezultatus, galime sakyti, kad B – statramsčio remontas, jį sujungiant suvirinimo būdu turi didelę įtaką bendram statramsčio konstrukcijos stiprumui, o tuo pačiu ir pasyviajai automobilio saugai.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. A. Crolla. Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle Body, 2009. 835 p. ISBN: 978-1-85617-577-7.
2. Materials for Automobile Bodies (Second Edition) Davies, Geoffrey 2012. ISBN 9780080969800.
3. Elaheh Ghassemieh. Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects. University of Sheffield 2011. ISBN 978-953-307-999-8.
4. Jonas Naruškevičius, Vladimiras Petrovičėvas. Suvirinimas Vilnius, Senoja, 2010. 239 p. ISBN 9789986959441.
5. Vitalijus Rudzinskas, Olegas Černašėjus. Aviacinės medžiagos. Vilnius „Technika“ 2012. 107 p. ISBN 978-609-457-194-7.
6. J. Sapragonas. Transporto priemonių kėbulai. Kaunas, 2013. 210p.
7. Ramesh Singh. Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards. ISBN 9780123919175.
8. Kirka A., Slavinskis S. Automobiliai. Kaunas: Smaltija, 2001. 536p. ISBN 9955707054.
9. Jevgenijus Šcemeliovas. Inžinerinės medžiagos ir jų gamybos bei apdorojimo technologijos, Vilnius „Technika“ 2007. 118 p. ISBN 9789955283249.
10. Algirdas Vaclovas Valiulis. Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas. Vilnius „Technika“ 2007. 250p. ISBN 978-9955-28-161-0.
11. Maw Maw Htay, Guo Shunsheng, Asa Romeo Asa. Quality Information Flow Of Welding Process In Auto Manufacturing. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 2, ISSUE 4, APRIL 2013. ISSN 2277-8616.
12. Do Hoi Kim, Chan Young Kang, Jong Weon Seo, Jung Han Kim and Yong Bai Joo. Ultra High Strength Steel B Pillar Reinforcement Structure to Enhance Side Impact and Roof Crash as Reducing Weight. SAE-China and FISITA (eds.), Proceedings of the FISITA 2012 World. [žiūrėta 2016-04-17]. Prieiga per internetą: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-33805-2_5#page-1
13. C.Venkataswamy, T.Naganna, Nirmith Kumar Mishra. MODELING AND ANALYSIS OF B-PILLAR. International Journal of Advanced Engineering and Global Technology, Vol-03, Issue-08, August 2015. [žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per internetą: http://www.academia.edu/15214936/Modeling_and_Analysis_of_B_Pillar
14. Fengxiang Xu, Guangyong Sun, Guangyao Li, Qing Li. Crashworthiness design of multi-component tailor-welded blank (TWB) structures. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/257335181_Crashworthiness_design_of_multi-component_tailor-welded_blank_TW_B_structures?el=1_x_2&enrichId=rgreq-75c1f234-be3d-

[4323-b5dc-](#)

[54ad088fae9b&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI1NmZmNTE4MTtBUzo5OTEyMzY4MDI1MTkyNUAxNDAwNjQ0MzM1NzYx](#)

15. P.O. Marklund and L. Nilsson. Optimization of a car body component subjected to side impact. [žiūrėta 2016-05-18]. Prieiga per internetą: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs001580100117>
16. Automobilių laikančiosios konstrukcijos. [žiūrėta 2016-04-04]. Prieiga per internetą: <https://www.scribd.com/doc/296813813/1-AAM-Body-structures#scribd>
17. „Ford F150“ laikantysis rėmas. [žiūrėta 2016-04-04]. Prieiga per internetą: http://image.motortrend.com/f/features/consumer/1202_the_cafe_way_future_trucks_and_fuel_economy/36033907/2009-Ford-F150-Frame.jpg
18. X – formos laikantysis rėmas. [žiūrėta 2016-04-04]. Prieiga per internetą: <http://i33.tinypic.com/k2y691.jpg>
19. „Audi Q5“ laikantysis kėbulas. [žiūrėta 2016-04-05]. Prieiga per internetą: http://www.caricos.com/cars/a/audi/2009_audi_q5/1600x1200/151.html?
20. „Audi A5“ kabrioletu laikančioji dugno konstrukcija. [žiūrėta 2016-04-05]. Prieiga per internetą: http://www.caricos.com/cars/a/audi/2015_audi_a3_cabrio/1920x1080/93.html?
21. Erdvinis rėmas. [žiūrėta 2016-04-05]. Prieiga per internetą: https://www.flyinmiata.com/exocet/images/Exocet_race.jpg
22. „McLaren F1“ monokokas. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: http://img.photobucket.com/albums/v482/Peloton25/McLaren%20F1%20E/ch005_ch006.jpg
23. Automobilių kėbuluose naudojamus medžiagos. [žiūrėta 2016-04-10]. Prieiga per internetą: <https://www.ukro.org/userfiles/files/UKRO%20New%20Technologies%20Pack%20-%20New%20Vehicle%20and%20Materials%202009.doc.pdf>
24. Laikančiam kėbule naudojami plienai. [žiūrėta 2016-04-06]. Prieiga per internetą: <http://www.boronextrication.com/wp-content/uploads/sites/20/2015/11/2016-Model-Honda-Civic-Soft-zones-Body-Structure.png>
25. „Audi A8“ laikantysis rėmas. [žiūrėta 2016-04-06]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/profile/A_Tekkaya/publication/225457773/figure/fig1/AS:302754774962186@1449193771714/Figure-1-Audi-Space-Frame-Structure.png
26. „Opel Astra G“ centrinis statramsčio. [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per internetą: <http://workshop-manuals.com/vauxhall/astra-g/images/astra-g-353.jpg>
27. Statramsčio vidinis profilis. [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per internetą: https://rts.i-car.com/images/Tech_Brief_Img/15906.jpg [18]
28. B – statramsčio profiliai. [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per internetą: http://adsvs.weebly.com/uploads/2/1/8/2/21829402/1633092_orig.jpg

29. Subaru b – statramstis. [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per internetą: http://drive2.subaru.com/Sum06_WhatsInside.htm
30. Taškinis suvirinimas. [žiūrėta 2016-04-14]. Prieiga per internetą: <http://i1-news.softpedia-static.com/images/news2/How-Spot-Welding-Works-3.jpg>
31. Suvirinimas MIG būdu. [žiūrėta 2016-04-14]. Prieiga per internetą: <http://infonet.blrt.ee/elme/images/articles/lincoln-electric/GMAW-lt.png>
32. Euro NCAP testai. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: http://www.theaa.com/motoring_advice/euroncap/crash_tests.html
33. Šoninio susidūrimo bandymų protokolas. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: <http://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/adult-occupant-protection/>
34. Šoninio susidūrimo bandymo schema. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: <http://csb.carseatblog.com/wp-content/uploads/2009/03/euro-ncap-side-pole-crash-test.bmp>
35. „Toyota Yaris“ b – statramsčio remonto schema. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: <https://manuals.co/workshop/toyota/yaris/toyota-yaris-2007-workshop-manual-collision/5576665/255>
36. „Hyundai i30“ b – statramsčio remonto schema. [žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per internetą: <http://manuals.co/workshop/hyundai/i30/hyundai-i30-2008-workshop-manual-body-repair/5524969/99>
37. „Opel Astra J“ b – statramsčio remonto schema. [žiūrėta 2016-04-21]. Prieiga per internetą: http://workshop-manuals.com/vauxhall/astra-j/body_repair/collision_repair/repair_instructions/centre_pillar_sectioning_outer/
38. LST EN ISO 6892-1:200 standartas: [žiūrėta 2016-04-15]. Prieiga per internetą: <http://www.lsd.lt/standards/catalog.php?ics=0&pid=623442>
39. Medžiagų mechaninės savybės. [žiūrėta 2016-04-19]. Prieiga per internetą: http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/Skaic_mech/Inziner_met/Teorija/AGG_P5.pdf
40. Skirtingų mechaninių charakteristikų metalo lakštų sujungimas tarpusavyje. [žiūrėta 2016-04-09]. Prieiga per internetą: <http://weldingdesign.com/consumables/future-automaking-tailor-welded-blanks>