

N3 KATEGORIJS TRANSPORTO PRIEMONĖS ŠONINĖS APSAUGOS ĮTAISŲ ATITIKTIES UNECE R73 REGLAMENTUI EKSPERIMENTINIS VERTINIMAS

Remigijus Juknevičius

Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution
<https://orcid.org/0009-0001-5046-8520>

Artūras Sabaliauskas

Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution
<https://orcid.org/0009-0001-8319-5995>

Sergėjus Rimovskis

Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution
<https://orcid.org/0009-0003-3072-0041>

Anotacija

Straipsnyje pateikiamas N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų eksperimentinis vertinimas pagal UNECE R73 reikalavimus. Remiantis dvidešimties bandymų rezultatais, įvertinta įtaisų atitiktis geometriniais ir mechaniniais kriterijams. Nustatyta, kad visais tirtais atvejais apsaugos įtaisai atitiko reglamento reikalavimus, o deformacijos neviršijo leistinų ribų. Gauti rezultatai rodo pakankamą tirtų konstrukcijų mechaninį standumą.

Pagrindiniai žodžiai: šoninės apsaugos įtaisai, N3 kategorijos transporto priemonės, standumas, eksperimentiniai bandymai, UNECE R73.

Įvadas

Sunkiasvorių transporto priemonių dalyvavimas eismo įvykiuose išlieka viena iš reikšmingų kelių transporto saugos problemų, ypač tais atvejais, kai susidūrimuose dalyvauja pažeidžiami eismo dalyviai arba skirtingų kategorijų transporto priemonės. N3 kategorijai priskiriamos krovininės transporto priemonės, kurių didžiausia leidžiamoji masė viršija 12 tonų [1]. Dėl didelės masės, gabaritų ir konstrukcinių ypatumų tokių transporto priemonių susidūrimų pasekmės dažnai būna itin sunkios.

Europoje sunkiasvorių transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų taikymą ir vertinimą reglamentuoja UNECE reglamentas Nr. 73, kuriame nustatyti šių įtaisų geometriniai, konstrukciniai ir mechaniniai reikalavimai [1]. Platesniame kelių saugos kontekste pažeidžiamų eismo dalyvių apsaugos svarba taip pat pabrėžiama Reglamente (ES) 2019/2144, kuriame akcentuojama būtinybė didinti bendrąją transporto priemonių saugą ir mažinti žūčių bei sunkių sužalojimų skaičių keliuose [2]. Vadinasi, šoninės apsaugos įtaisai vertintini ne tik kaip atskiras konstrukcinis elementas, bet ir kaip svarbi kompleksinės transporto saugos sistemos dalis.

Literatūroje šoninės apsaugos įtaisai apibūdinami kaip svarbi pasyviosios saugos priemonė, galinti sumažinti riziką, kad susidūrimo metu pėsčiasis, dviratininkas ar kita transporto priemonė pateks po sunkiasvorės transporto priemonės ratais [3], [4]. Ankstesni tyrimai rodo, kad tokio pobūdžio susidūrimų pasekmės gali būti ypač sunkios, o šoninės apsaugos sprendiniai turi reikšmės tiek pažeidžiamų eismo dalyvių, tiek lengvųjų automobilių keleivių apsaugai [3]–[8].

Vis dėlto, nepaisant detalios apibrėžtų UNECE R73 reikalavimų, literatūroje vis dar trūksta apibendrintų eksperimentinių tyrimų, paremtų realiais N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų bandymų duomenimis, gautais vienodomis laboratorinėmis sąlygomis pagal reglamentines procedūras [1], [3]–[9]. Daugumoje publikuotų darbų nagrinėjama bendra saugos problematika, techniniai principai, atskiri konstrukciniai sprendiniai arba modeliavimo rezultatai, tačiau stokojama tyrimų, leidžiančių sistemiškai įvertinti realių konstrukcijų geometrinių parametų atitiktį, deformacijas, konstrukcinį standumą ir saugos rezervą būtent N3 kategorijos transporto priemonių atveju.

Šio tyrimo naujumą sudaro tai, kad jame apibendrintai analizuojami dvidešimties N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų bandymų rezultatai, gauti akredituotoje laboratorijoje pagal UNECE R73 reglamente nustatytą metodiką. Tyrime, remiantis realiais eksperimentinių bandymų duomenimis, vertinama ne tik formali atitiktis reglamentiniams geometriniais ir

mechaniniams kriterijams, bet ir deformacijų sklaida, konstrukcinio standumo rodikliai, saugos rezervas.

Tyrimo tikslas – eksperimentiškai įvertinti N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų atitiktį UNECE R73 reikalavimams, analizuojant įtaisų geometrinius parametrus, deformacines savybes, konstrukcinį standumą ir saugos rezervą. Šiam tikslui pasiekti sprendžiami šie uždaviniai:

- 1) įvertinti geometrinių parametru atitiktį UNECE R73 reikalavimams;
- 2) nustatyti deformacijas taikant 1 kN horizontalią statinę apkrovą;
- 3) apskaičiuoti konstrukcinio standumo rodiklius pagal eksperimentinių bandymų duomenis;
- 4) palyginti gautus rezultatus su reglamente nustatytais ribinėmis vertėmis ir įvertinti saugos rezervą.

1. Literatūros apžvalga

Mokslinėje ir taikomojoje literatūroje šoninės apsaugos įtaisų tematika nagrinėjama keliomis pagrindinėmis kryptimis. Viena iš jų susijusi su šių įtaisų reikšme pažeidžiamų eismo dalyvių saugai. Badgley ir kt. pateiktoje literatūros apžvalgoje apibendrinta, kad šoniniai apsaugos įtaisai gali sumažinti pėsčiųjų ir dviratininkų patekimo po sunkiasvorės transporto priemonės ratais riziką, todėl yra vertinami kaip svarbi pasyviosios saugos priemonė [3]. *Volpe National Transportation Systems Center* techninėje apžvalgoje taip pat pabrėžiama, kad šie įtaisai uždengia tarpą tarp transporto priemonės ašių ir taip mažina pervažiavimo tikimybę [4].

Kita tyrimų kryptis susijusi su konstrukcinių sprendinių ir mechaninio atsako vertinimu. Valladares Hernando ir kt. parodė, kad puspriekabės šoninės apsaugos sistemos mechaninę elgseną galima analizuoti taikant skaitmeninį modeliavimą, vertinant konstrukcijos deformacijas ir atsaką į apkrovą [5]. Mattos ir kt. nagrinėjo keleivinių automobilių apsaugą nuo šoninio palindimo po sunkvežimiais ir pabrėžė, kad šoninės apsaugos sprendinių veiksmingumas priklauso ne vien nuo jų geometrinių parametru, bet ir nuo mechaninio atsparumo [7]. Šie darbai rodo, kad šoninių apsaugos įtaisų vertinimas negali būti grindžiamas vien tik matmenų atitiktimi, bet turi apimti ir konstrukcinį atsaką į apkrovą.

Plačiame saugos kontekste sunkiųjų transporto priemonių ir pažeidžiamų eismo dalyvių sąveiką analizavo Fabricius ir kt. Jų sisteminė apžvalga parodė, kad tokio pobūdžio eismo įvykiai priklauso nuo daugelio tarpusavyje susijusių veiksnių, įskaitant transporto priemonės konstrukciją, matomumą, vairuotojo elgseną ir infrastruktūrą [6]. Schindler ir Jeppsson, nagrinėdami komercinių transporto priemonių ir dviratininkų susidūrimų scenarijus, taip pat patvirtino didelę sunkiųjų sužalojimų riziką tokio tipo eismo įvykiuose [8]. Tai leidžia šoninius apsaugos įtaisus vertinti kaip vieną iš kompleksinių priemonių, skirtų susidūrimų pasekmių sunkumui mažinti.

Papildomai pažymėtina, kad literatūroje daugiau dėmesio skiriama galinių apsaugos nuo palindimo sistemų konstrukcinei ir reglamentinei analizei. Gidlewski ir kt. analizavo galinių apsaugos nuo palindimo įtaisų konstrukcinius sprendimus ir jų atitiktį norminiams reikalavimams [9]. Nors šis darbas nėra tiesiogiai skirtas šoniniams apsaugos įtaisams, jis rodo bendrą techninių sprendinių ir reglamentinės atitikties vertinimo kryptį palindimo apsaugos srityje ir leidžia platesniame kontekste vertinti apsaugos įtaisų mechaninių savybių svarbą.

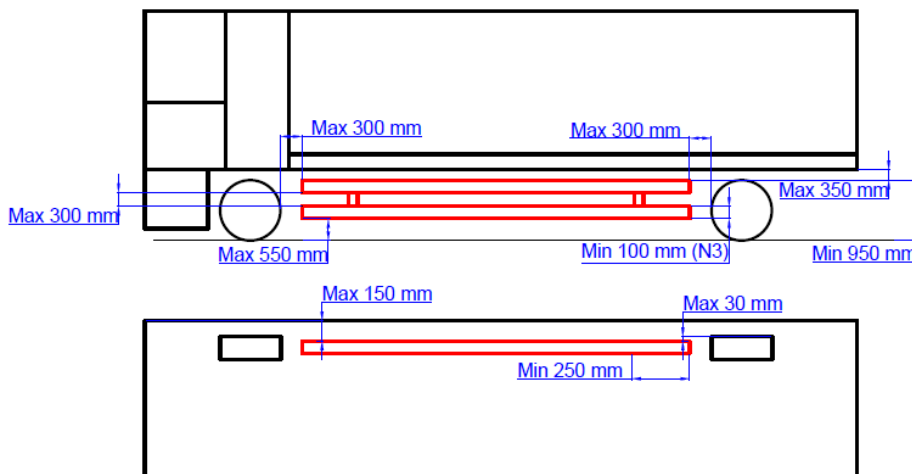
Apibendrinant galima teigti, kad literatūroje pakankamai aiškiai pagrįsta šoninių apsaugos įtaisų svarba pažeidžiamų eismo dalyvių saugai, taip pat pateikiama atskirų techninių ir modeliavimo tyrimų [3]–[9]. Vis dėlto dar trūksta apibendrintų eksperimentinių tyrimų, paremtų realiais N3 kategorijos transporto priemonių šoninių apsaugos įtaisų bandymų duomenimis, gautais vienodomis laboratorinėmis sąlygomis pagal UNECE R73 reikalavimus [1]. Būtent šis trūkumas ir sudaro prielaidas šiame straipsnyje atliekamai eksperimentinei analizei.

2. Bandymo metodika ir įranga

Eksperimentinis tyrimas atliktas akredituotoje bandymų laboratorijoje, laikantis UNECE reglamento Nr. 73 I dalies reikalavimų ir 3 priede nustatytų bandymo sąlygų [1]. Straipsnyje apibendrinti dvidešimties N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų bandymų

rezultatai, gauti taikant tą pačią metodiką, tuos pačius atitikties vertinimo kriterijus ir analogišką vertinimo logiką. Pagal taikytą bandymų metodiką vertintos abi transporto priemonės pusės, o rezultatų pateikimui naudota nepalankesnė pusė arba abi pusės tais atvejais, kai jų palyginimas nebuvo galimas dėl techninių skirtumų.

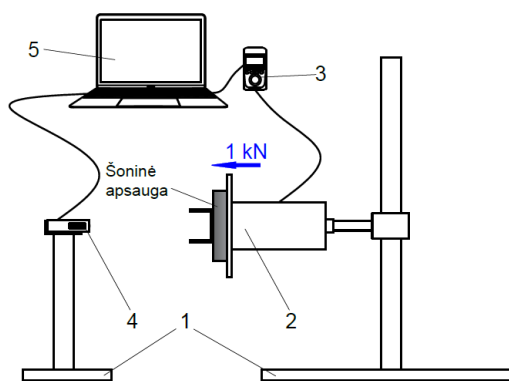
Tyrimo metu vertinta šoninės apsaugos įtaisų atitiktis UNECE R73 reglamente nustatytiems geometriniais, konstrukciniais ir mechaniniams kriterijams. Geometrinio vertinimo metu nustatyti šoninės apsaugos įtaiso aukščiai nuo žemės paviršiaus, atstumai iki transporto priemonės ratų ir kitų konstrukcinių elementų, tarpai tarp horizontalių elementų bei šoninės apsaugos įtaiso padėtis transporto priemonės atžvilgiu. Papildomai vertinta, ar išorinis įtaiso paviršius yra lygus ir vientisas, o išoriniai kraštai ir kampai yra suapvalinti [1]. N3 kategorijos transporto priemonės šoninės apsaugos įtaisų geometrinių reikalavimų schema pateikta 1 paveiksle.



1 pav. N3 kategorijos transporto priemonės šoninės apsaugos įtaisų geometrinių reikalavimų schema pagal UNECE R73 [1]

Mechaninių bandymų metu šoninės apsaugos įtaisai buvo veikiami 1 kN horizontalia statine apkrova, nukreipta statmenai išoriniam įtaiso paviršiui, kaip nustatyta UNECE R73 reglamente. Apkrova perduota apskrita ir plokščia cilindrine tvokle, kurios skersmuo buvo 220 mm. Deformacija vertinta tvoklės centre. Pagal UNECE R73 reikalavimus šoninės apsaugos įtaisas laikomas tinkamu, jei galinėje 250 mm įtaiso dalyje deformacija neviršija 30 mm, o kitoje įtaiso dalyje – 150 mm. Tokia bandymo schema pasirinkta todėl, kad ji tiesiogiai atitinka reglamente apibrėžtą sertifikavimo procedūrą [1].

Mechaninių bandymų schema pateikta 2 pav. Bandymo sistemą sudarė atraminė konstrukcija, apkrovos perdavimo mechanizmas su cilindrine tvokle, jėgos matuoklis AXIS FC10k, lazerinis atstumo matuoklis Leica DISTO D510 ir duomenų registravimo bei apdorojimo sistema su *Force Manager* programine įranga. Jėga bandymo metu buvo kontroliuojama jėgos matuokliu, o deformacija nustatyta kaip atstumo pokytis apkrovos veikimo centre, matuojant lazeriniu atstumo matuokliu.



2 pav. Šoninės apsaugos įtaisų mechaninių bandymų schema taikant 1 kN horizontalią statinę apkrovą: 1 – atraminė konstrukcija; 2 – apkrovos perdavimo mechanizmas su cilindrine tvokle; 3 – jėgos matuoklis AXIS FC10k; 4 – lazerinis atstumo matuoklis Leica DISTO D510; 5 – duomenų registravimo ir apdorojimo sistema (kompiuteris) su Force Manager programine įranga

Jėgai matuoti naudotas jėgos matuoklis AXIS FC10k, parodytas 3 pav. Remiantis gamintojo pateiktais techniniais duomenimis, šio prietaiso matavimo diapazonas yra 0–10 kN, o skiriamoji geba – 2 N [10].



3 pav. Jėgos matuoklis AXIS FC10k [10]

Atstumo ir deformacijos matavimams naudotas lazerinis atstumo matuoklis Leica DISTO D510, parodytas 4 pav. Pagal gamintojo techninius duomenis šio prietaiso matavimo diapazonas yra 0,05–200 m, o tipinis tikslumas – ± 1 mm [11]. Gamintojo pateikiamos prietaisų techninės charakteristikos naudotos įrangai identifikuoti, o atitikties vertinimui taikyta laboratorijoje nustatyta matavimo neapibrėžtis pagal šiame tyrime naudotą atitikties vertinimo kriterijų.



4 pav. Lazerinis atstumo matuoklis Leica DISTO D510 [11]

Bandymų metu apkrova buvo taikoma reglamente apibrėžtose kritinėse zonose, įskaitant galinę 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalį ir likusią konstrukcijos dalį. Kiekvieno bandymo metu pirmiausia buvo tikrinami geometriniai parametrai ir paviršiaus savybės, o po to atliekamas mechaninis bandymas. Taikant 1 kN apkrovą, buvo registruojamas šoninės apsaugos įtaiso poslinkis apkrovos veikimo vietoje, gautos reikšmės lyginamos su UNECE R73 nustatytomis ribinėmis vertėmis [1].

Kiekybinių matavimų rezultatų vertinimui taikytas kriterijus, pagal kurį normatyvo reikalavimai laikomi įvykdytais tik tuo atveju, kai jie tenkinami su atsarga, didesne už išplėstinę matavimo

neapibrėžti. Išplėstinė matavimo neapibrėžtis apskaičiuota standartinę neapibrėžtį padauginus iš aprėpties daugiklio $k = 2$, kuris, esant normaliajam skirstiniui, atitinka maždaug 95 proc. pasikliautinąją tikimybę. Todėl galutinė atitiktis nustatyta ne vien pagal nominalias išmatuotas reikšmes, bet ir atsižvelgiant į jų santykį su reglamente nustatytais ribinėmis vertėmis bei matavimo neapibrėžtį [1].

Bandymų metu aplinkos temperatūra svyravo nuo 20 iki 23°C. Toks temperatūrų intervalas užtikrino artimas laboratorines bandymų sąlygas ir sudarė prielaidas rezultatų palyginamumui.

3. Bandymų rezultatai

Eksperimentinių bandymų metu buvo įvertinta dvidešimties N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų atitiktis UNECE reglamento Nr. 73 I dalyje nustatytiems geometriniais ir mechaniniams reikalavimams [1]. Kadangi straipsnyje apibendrinami 20 bandymų duomenys, rezultatai pateikiami intervalais, nurodant mažiausias ir didžiausias nustatytas reikšmes. Atitiktis reglamentiniams kriterijams vertinta taikant 2 skyriuje aprašytą atitikties vertinimo kriterijų ir atsižvelgiant į matavimo neapibrėžtį.

Geometrinių matavimų rezultatai parodė, kad visais analizuotais atvejais šoninės apsaugos įtaisai nepadidino transporto priemonių gabaritinio pločio. Įtaiso poslinkis į transporto priemonės vidų svyravo nuo 52 iki 91 mm ir sudarė 34,7–60,7 proc. UNECE R73 reglamente nustatytos 150 mm ribinės vertės. Galinės šoninės apsaugos įtaiso dalies poslinkis nuo tolimiausio padangos išorinio krašto svyravo nuo 0 iki 5 mm, t. y. sudarė 0–16,7 proc. leistinos 30 mm ribos. Tokios mažos reikšmės rodo, kad galinė įtaiso dalis buvo įrengta labai arti tolimiausio padangos išorinio krašto plokštumos, todėl šis rezultatas sietinas su konstrukciniu išdėstymu, o ne su matavimo netikslumu.

Nustatyta, kad visuose tirtuose bandymuose šoninės apsaugos įtaisų konstrukcija buvo sudaryta iš dviejų horizontalių elementų. Atstumai tarp šių elementų svyravo nuo 106 iki 116 mm ir sudarė 35,3–38,7 proc. maksimaliai leistino 300 mm tarpo. Apatinio ir viršutinio elementų aukščiai nuo žemės paviršiaus bei jų padėtis transporto priemonės atžvilgiu atitiko N3 kategorijos transporto priemonėms taikomus reglamento reikalavimus. Visais atvejais nustatyta, kad įtaisų išorinis paviršius buvo lygus ir vientisas, o išoriniai kraštai ir kampai – suapvalinti [1].

Mechaninių bandymų metu šoninės apsaugos įtaisams buvo taikoma 1 kN horizontali statinė apkrova, veikianti statmenai įtaiso išoriniam paviršiui, kaip numatyta UNECE R73 reglamente. Galinėje, reglamente apibrėžtoje kaip kritinė, 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalyje išmatuotos deformacijos svyravo nuo 5 iki 16 mm ir sudarė 16,7–53,3 proc. leistinos 30 mm ribinės vertės. Kitoje šoninės apsaugos įtaiso konstrukcijos dalyje deformacijos svyravo nuo 32 iki 61 mm ir sudarė 21,3–40,7 proc. reglamente nustatytos 150 mm ribinės vertės. Vadinas, nė vienu atveju nebuvo nustatyta ribinių verčių viršijimų.

Apibendrinti šoninės apsaugos įtaisų geometrinių ir mechaninių bandymų rezultatai bei jų santykis su UNECE R73 reglamento reikalavimais pateikti 1 lentelėje. Visi analizuoti bandymai atitiko reglamentinius kriterijus, todėl nė vienu atveju nebuvo nustatyta neatitikties pagal vertintus parametrus [1].

1 lentelė Apibendrinti šoninės apsaugos įtaisų bandymų rezultatai ir jų palyginimas su UNECE R73 reikalavimais

Parametras	Reglamentinė riba, mm	Eksperimentinė reikšmė, mm (nuo-iki)	Reikšmė nuo reglamentinės ribos, %	Atitiktis
Įtaiso poslinkis į TP vidų	≤ 150 mm	52–91	34,7–60,7	Taip
Galinės dalies poslinkis nuo padangos	≤ 30 mm	0–5	0–16,7	Taip
Atstumas tarp horizontalių strypų	≤ 300 mm	106–116	35,3–38,7	Taip
Deformacija galinėje 250 mm dalyje (1 kN)	≤ 30 mm	5–16	16,7–53,3	Taip
Deformacija likusioje įtaiso dalyje (1 kN)	≤ 150 mm	32–61	21,3–40,7	Taip

Pastaba. Rezultatai pateikiami kaip dvidešimties bandymų intervalai nuo mažiausios iki didžiausios nustatytos reikšmės, todėl lentelėje naudojama intervalo išraiška, o ne „±“ žymėjimas. Atitiktis UNECE R73 reikalavimams vertinta atsižvelgiant į išplėstinę matavimo neapibrėžtį ($k = 2$). Naudotų matavimo priemonių techninės charakteristikos ir tikslumo rodikliai pateikti 2 skyriuje.

4. Rezultatų analizė

Atliktų eksperimentinių bandymų rezultatų analizė leidžia išsamiau įvertinti N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų mechaninę elgseną, remiantis 20 bandymų apibendrintais duomenimis. Skirtingai nei vien formalus atitikties konstatavimas, ši analizė leidžia kiekybiškai įvertinti konstrukcinį standumą, deformacijų santykį su UNECE R73 reglamente nustatytais ribinėmis vertėmis ir apskaičiuoti saugos rezervą skirtingose apkrovos veikimo zonose. Analizė atliekama remiantis 1 lentelėje pateiktais rezultatų intervalais ir 1 kN apkrova, taikyta pagal UNECE R73 reikalavimus [1].

4.1. Skaičiuojamasis konstrukcinio standumo įvertinimas

Siekiant kiekybiškai įvertinti šoninės apsaugos įtaisų konstrukcinį standumą, pagal eksperimentinių bandymų duomenis apskaičiuotas ekvivalentinis standumo koeficientas:

$$k = F / \delta, \quad (1)$$

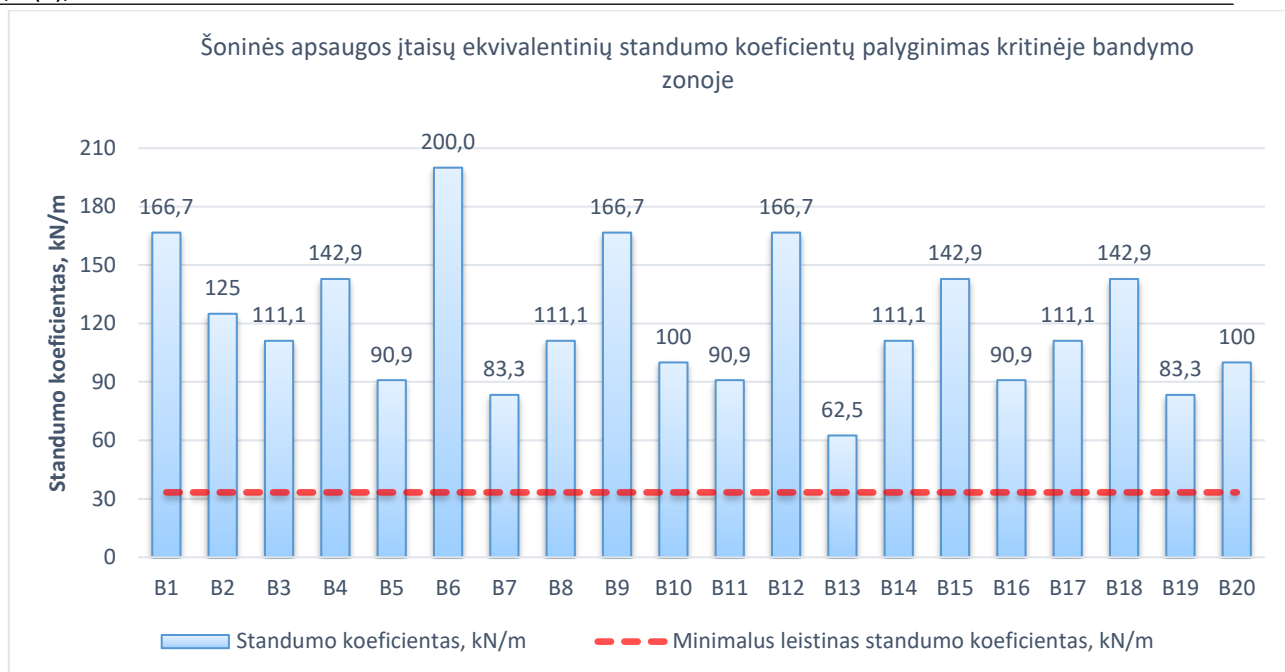
čia: F – taikoma jėga, N; δ – išmatuota deformacija, m.

Kadangi bandymų metu taikyta horizontali statinė apkrova nekito, buvo lygi 1 kN, standumo koeficiento reikšmės tiesiogiai priklausė nuo išmatuotų deformacijų dydžio. Kritinėje, t. y. galinėje 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalyje, kai deformacijos svyravo nuo 5 iki 16 mm, apskaičiuotas ekvivalentinis standumo koeficientas sudarė nuo 62,5 iki 200,0 kN/m. Likusioje šoninės apsaugos įtaiso dalyje, kai deformacijos svyravo nuo 32 iki 61 mm, standumo koeficientas sudarė nuo 16,4 iki 31,3 kN/m.

Gautos reikšmės rodo, kad kritinėje zonoje konstrukcija buvo standesnė negu likusioje įtaiso dalyje. Toks skirtumas paaiškinamas tuo, kad galinėje 250 mm zonoje UNECE R73 reglamentas nustato griežtesnį deformacijos kriterijų, todėl šioje srityje konstrukciniai sprendiniai turi užtikrinti didesnę atsparumą apkrovai [1].

Siekiant palyginti eksperimentinius duomenis su reglamente nustatytais deformacijos kriterijais, galima apskaičiuoti minimalias ekvivalentines standumo ribas pagal leistinas deformacijas. Kritinėje 250 mm zonoje, kur didžiausia leistina deformacija yra 30 mm, minimali ekvivalentinė standumo riba sudaro 33,3 kN/m. Likusioje šoninės apsaugos įtaiso dalyje, kur didžiausia leistina deformacija yra 150 mm, atitinkama minimali ekvivalentinė standumo riba sudaro 6,7 kN/m. Palyginimas parodė, kad visais analizuotais atvejais apskaičiuoti standumo koeficientai viršijo atitinkamoms bandymo zonoms taikytinas minimalias ekvivalentines ribas.

Apskaičiuotų standumo koeficientų sklaida rodo, kad tirtų konstrukcijų mechaninis atsakas buvo nevienodas, tačiau visais atvejais viršijo minimalią leistiną standumo ribą, apskaičiuotą pagal 1 kN apkrovą ir 30 mm didžiausią leistiną deformaciją. Ši riba sudaro 33,3 kN/m. Didžiausios standumo koeficiento reikšmės nustatytos tais atvejais, kai kritinės zonos deformacijos buvo mažiausios, o mažiausios – esant didesnėms, tačiau leistinų ribų neviršijančioms deformacijoms. Apskaičiuotų ekvivalentinių standumo koeficientų palyginimas kritinėje bandymo zonoje pateiktas 5 paveiksle.

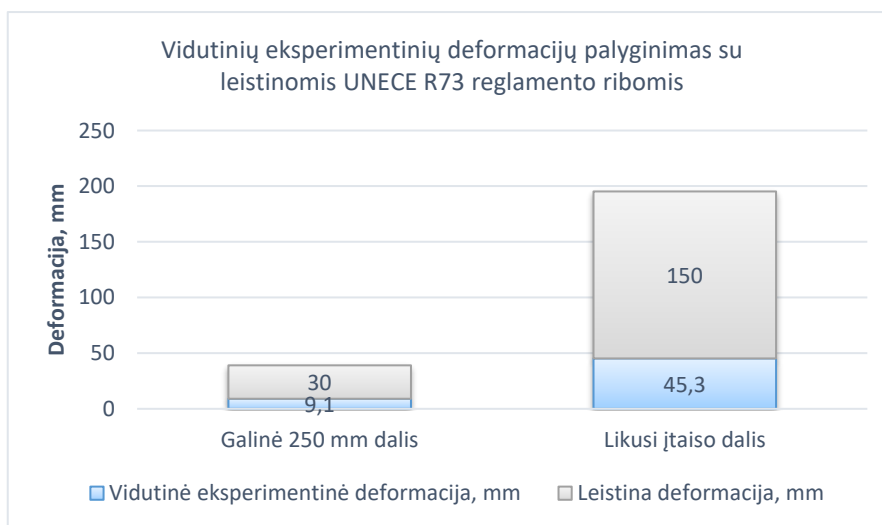


5 pav. N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų ekvivalentinių standumo koeficientų palyginimas kritinėje bandymo zonoje. B1–B20 – atskiri bandymai. Punktyrinė linija žymi minimalią leistiną standumo koeficiento ribą 33,3 kN/m, apskaičiuotą pagal 1 kN apkrovą ir 30 mm didžiausią leistiną deformaciją

4.2. Eksperimentinių deformacijų ir reglamentu nustatytų ribų palyginimas

Eksperimentinių deformacijų palyginimas su UNECE R73 reglamente nustatytais leistinomis ribinėmis vertėmis parodė, kad visais analizuotais atvejais faktinės deformacijos buvo gerokai mažesnės už leistinas [1]. Galinėje 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalyje užfiksuotos deformacijos sudarė 16,7–53,3 proc. maksimaliai leistinos 30 mm vertės, o likusioje įtaiso dalyje – 21,3–40,7 proc. leistinos 150 mm ribos [1]. Toks rezultatų pateikimas procentine išraiška leidžia aiškiai parodyti, kiek eksperimentinės reikšmės buvo nutolusios nuo reglamentinių ribų.

Pagal apibendrintus rezultatus aritmetinė vidutinė deformacija galinėje 250 mm zonoje buvo 9,1 mm, o likusioje įtaiso dalyje – 45,3 mm, kai atitinkamos reglamentinės ribos buvo 30 ir 150 mm. Tai reiškia, kad vidutinė deformacija kritinėje zonoje sudarė apie 30,3 proc. leistinos ribos, o kitoje zonoje – apie 30,2 proc. leistinos ribos. Vadinasi, abiejose bandymo zonose vidutinės eksperimentinės reikšmės buvo reikšmingai mažesnės už UNECE R73 nustatytus ribinius dydžius [1]. Vidutinių eksperimentinių deformacijų palyginimas su leistinomis UNECE R73 ribomis pateiktas 6 paveiksle.



6 pav. Vidutinių eksperimentinių deformacijų palyginimas su leistinomis UNECE R73 ribomis

4.3. Saugos rezervo įvertinimas

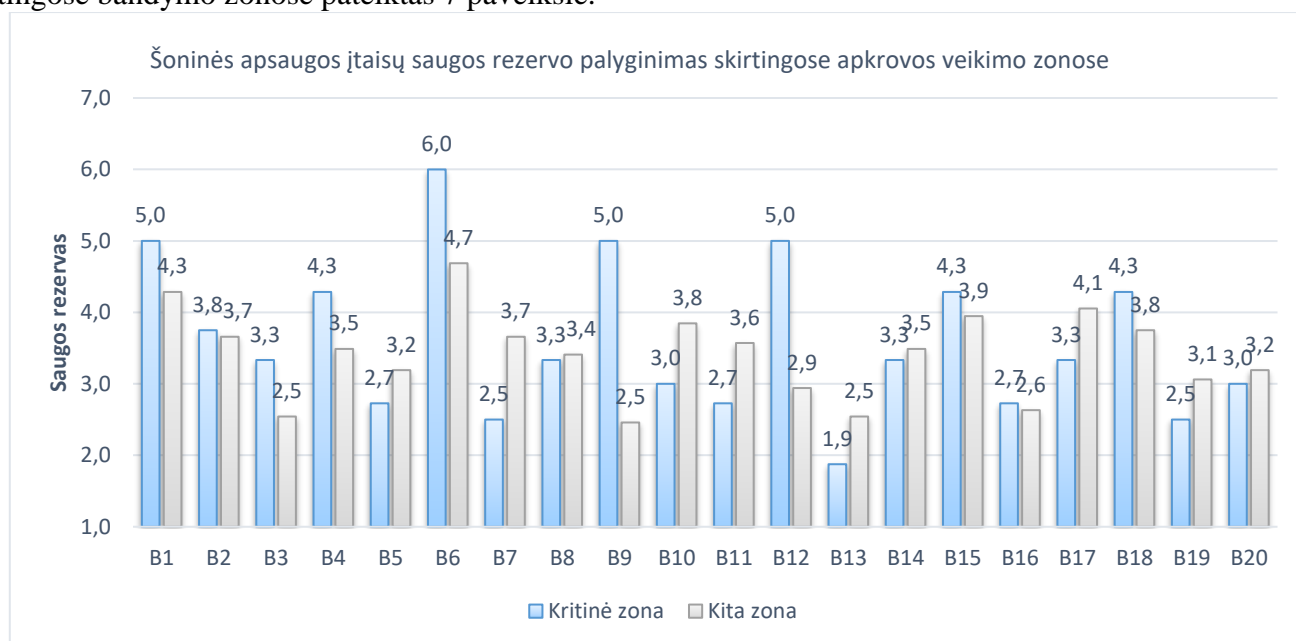
Siekiant papildomai įvertinti šoninės apsaugos įtaisų mechaninį atsparumą, buvo apskaičiuotas saugos rezervas, apibrėžiamas kaip reglamente nustatyta leistinos deformacijos ir eksperimentinės deformacijos santykis:

$$R = \frac{\delta_{leist}}{\delta_{eksp}} \quad (2)$$

čia: R – saugos rezervas; δ_{leist} – UNECE R73 reglamente nustatyta leistina deformacija, mm; δ_{eksp} – eksperimentiškai nustatyta deformacija, mm.

Šis rodiklis parodo, kiek kartų faktinė deformacija buvo mažesnė už ribinę reglamentinę vertę.

Atlikta analizė parodė, kad kritinėje, galinėje 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalyje saugos rezervo reikšmės sudarė nuo 1,9 iki 6,0, o likusioje įtaiso dalyje – nuo 2,5 iki 4,7, t. y. faktinės deformacijos buvo atitinkamai nuo 1,9 iki 6,0 karto ir nuo 2,5 iki 4,7 karto mažesnės už UNECE R73 reglamente nustatytas leistinas ribas [1]. Šoninės apsaugos įtaisų saugos rezervo palyginimas skirtingose bandymo zonose pateiktas 7 paveiksle.



7 pav. Šoninės apsaugos įtaisų saugos rezervo palyginimas skirtingose bandymo zonose
B1–B20 – atskiri bandymai; kritinė zona – galinė 250 mm įtaiso dalis; kita zona – likusi įtaiso dalis

Gauti rezultatai rodo, kad tirtų bandinių atveju reglamentinės deformacijų ribų nebuvo pasiekta nė vienoje apkrovos veikimo zonoje. Tirtoms konstrukcijoms eksperimentinės deformacijos sudarė 16,7–53,3 proc. leistinos 30 mm ribos kritinėje zonoje ir 21,3–40,7 proc. leistinos 150 mm ribos likusioje įtaiso dalyje, todėl buvo nustatyta pakankama deformacinė atsarga. Tokia formuluotė yra tiesiogiai pagrįsta gautais rezultatais.

Išvados

1. Atliktas N3 kategorijos transporto priemonių šoninės apsaugos įtaisų geometrinių parametų vertinimas parodė, kad visi tirti įtaisai atitiko UNECE R73 reglamente nustatytus geometrinius reikalavimus. Įtaiso poslinkis į transporto priemonės vidų svyravo nuo 52 iki 91 mm, galinės dalies poslinkis nuo tolimiausio padangos išorinio krašto – nuo 0 iki 5 mm, o atstumas tarp horizontalių elementų – nuo 106 iki 116 mm, todėl nė vienas iš šių parametų neviršijo reglamentinių ribinių verčių.

2. Mechaninių bandymų metu, taikant 1 kN horizontalią statinę apkrovą, galinėje 250 mm šoninės apsaugos įtaiso dalyje nustatytos deformacijos svyravo nuo 5 iki 16 mm, o likusioje įtaiso dalyje – nuo 32 iki 61 mm. Visais analizuotais atvejais išmatuotos deformacijos neviršijo UNECE R73 reglamente nustatytų ribinių verčių.

3. Pagal eksperimentinių bandymų duomenis apskaičiuoti ekvivalentiniai konstrukcinio standumo rodikliai parodė, kad kritinėje šoninės apsaugos įtaiso zonoje standumo koeficientas sudarė 62,5–200,0 kN/m, o likusioje įtaiso dalyje – 16,4–31,3 kN/m. Tai rodo, kad kritinėje zonoje konstrukcija buvo standesnė nei likusioje įtaiso dalyje.

4. Eksperimentinių rezultatų palyginimas su UNECE R73 reglamente nustatytais ribinėmis vertėmis parodė, kad galinėje 250 mm zonoje deformacijos sudarė 16,7–53,3 proc. leistinos 30 mm ribos, o likusioje įtaiso dalyje – 21,3–40,7 proc. leistinos 150 mm ribos. Apskaičiuotas saugos rezervo rodiklis parodė, kad eksperimentinės deformacijos kritinėje zonoje buvo 1,9–6,0 karto, o likusioje įtaiso dalyje – 2,5–4,7 karto mažesnės už leistinas, todėl tirtų konstrukcijų atveju buvo nustatyta pakankama deformacinė atsarga.

Literatūra

1. United Nations Economic Commission for Europe. *UN Regulation No. 73: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their lateral protection devices (LPD), of LPD, of vehicles with regard to the installation of LPD of an approved type and of vehicles with regard to their side underrun protection (SUP)*. 2020.
2. European Parliament, Council of the European Union. *Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users*. *Official Journal of the European Union*, 2019.
3. Badgley J. H., Breck A., Dawes M., Epstein A. K., Welty K., McNally A., Peirce S. *A literature review of lateral protection devices on trucks intended for reducing pedestrian and cyclist fatalities*. John A. Volpe National Transportation Systems Center; Federal Motor Carrier Safety Administration, 2020. FMCSA-RRR-19-004.
4. Volpe National Transportation Systems Center. *Truck lateral protective device technical overview*. U.S. Department of Transportation, 2021.
5. Valladares Hernando D., Fernández Lacruz D., Castejón Limas M., Nieto M. Numerical simulation of a semitrailer's lateral protection system against car frontal crash. *Transportation Research Procedia*, 2021, vol. 58, p. 808–815. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.11.033.
6. Fabricius V., Habibovic A., Rizgary D., Andersson J., Wärnestål P. Interactions between heavy trucks and vulnerable road users – A systematic review to inform the interactive capabilities of highly automated trucks. *Frontiers in Robotics and AI*, 2022, vol. 9, article 818019. DOI: 10.3389/frobt.2022.818019.
7. Mattos G., Friedman K., Kiefer A., Ponder P. Protecting passenger vehicles from side underride with heavy trucks. *SAE Technical Paper Series*, 2021. DOI: 10.4271/2021-01-0288.
8. Schindler R., Jeppsson H. In-depth analysis of scenarios and injuries in crashes between cyclists and commercial vehicles in Germany. *Traffic Safety Research*, 2024, vol. 7, e000067. DOI: 10.55329/uoqc5084.
9. Gidlewski M., Jackowski J., Posuniak P. Review and analysis of technical designs of rear underrun protective devices (RUPDs) in terms of regulatory compliance. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 7, article 2645. DOI: 10.3390/s22072645.
10. AXIS Sp. z o.o. *FC10k* [interaktyvus]. [žiūrėta 2026-03-09]. Prieiga per internetą: <https://www.axis.pl/en/fck/434-fc10k.html>.
11. Leica Geosystems AG. *Leica DISTO D510: Product data sheet* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2026-03-10]. Prieiga per internetą: <https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2022-04/Leica%20DISTO%20D510%20data-sheet%20201%20V1.0%20EN.pdf>.

Experimental Assessment of the Compliance of N3 Category Vehicle Lateral Protection Devices with UNECE Regulation No. 73

This paper presents an experimental evaluation of lateral protection devices of N3 category vehicles in accordance with UNECE Regulation No. 73. The aim of the study was to assess their compliance with the prescribed geometric and mechanical criteria on the basis of a summarized analysis of twenty tests, as well as to examine their deformation behaviour and structural stiffness. The tests were carried out in an accredited laboratory under the conditions specified in the regulation, applying a 1 kN horizontal static load and taking measurement uncertainty into account. The study evaluated the geometric parameters of the devices, the distances to vehicle structural elements, gap sizes, and deformations in the load application zones. The results showed that, in all analysed cases, the tested devices complied with UNECE Regulation No. 73, and the measured deformations did not exceed the permissible limits. The results indicate that the investigated structural solutions provide sufficient mechanical stiffness and may support further improvement of the design and testing methodology of lateral protection devices.

Keywords: lateral protection devices; N3 vehicles; stiffness; experimental testing; UNECE R73