



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

## TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

## SMULKIASERIJINĖS GAMYBOS BŪDU LIETUVOJE GAMINAMŲ AUTOBUSŲ SAUGUMAS IR PATIKIMUMAS

Tautvydas Pravilonis<sup>1</sup>, Edgar Sokolovskij<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>t.pravilonis@yahoo.com; <sup>2</sup>edgar.sokolovskij@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje tiriami ir analizuojami originalus ir žemintas autobuso porėmiai. Atliekami porėmių konstrukcijos atsparumo skaičiavimai, porėmių kompiuterinis modeliavimas. Įvertinama porėmių konstrukcija veikiant tiek vertikaliai, tiek išilginei apkrovai. Naudojantis kompiuterine programa „SolidWorks“, nustatomi įlinkiai ir deformacijos atsirandančios porėmiuose. Atliekami konstrukciniai žeminto porėmio pakeitimai. Įvertinama kaip pasikeitė įtempiai ir įlinkiai žemintame porėmyje. Įvertinamas konstrukcijos patikimumas eksploatacijos metu.

**Reikšminiai žodžiai:** transporto priemonė, autobusas, saugumas, modeliavimas, įlinkis, deformacija, porėmis.

### Įvadas

Siekiant užtikrinti eismo dalyvių ir kitų asmenų saugumą, labai svarbu kontroliuoti transporto priemonių techninę būklę, jos konstrukcijos saugumą ir patikimumą. Netinkama techninė būklė, susilpnėjusi transporto priemonės konstrukcija, eismo įvykio metu neatlieka pagrindinės savo funkcijos, neapsaugo transporto priemonės viduje esančių asmenų, kurie gali patirti sunkius sužalojimus ar netgi žūti.

Problemos, susijusios su transporto priemonių konstrukciniu saugumu, taip pat paliečia ir smulkiaserijinių gamybos būdu transporto priemones gaminančių įmonių interesus, nes tokiose įmonėse yra keičiama transporto priemonių konstrukcija, atliekami įvairūs kėbulo, porėmio ir kiti konstrukciniai pakeitimai, kurie tiesiogiai įtakoja transporto priemonės konstrukcinį saugumą. Šiuo konkrečiu atveju yra nagrinėjamas žemintas autobuso porėmis.

Kaip teigia Parka *et al.* (2013), kopėčių tipo porėmis yra pagrindinė transporto priemonės dalis, kuri sugeria smūgio energiją. Porėmiai gaminami iš plieno ir jų masė siekia apie 10 % visos transporto priemonės masės. Paprastai porėmiai gaminami iš plieno. Plienas jų gamyboje naudojamas todėl, kad jis puikiai sugeria avarijos metu susidariusią smūgio energiją, o taip pat ir jo gamyba sąlyginai yra nesudėtinga. Kad porėmis būtų pakankamai tvirtas, jo konstrukcijoje yra naudojamos išilginės ir skersinės skersės, įvairūs sustiprinimo elementai, kurie sujungiami į vieną konstrukciją jas suvirinant.

Silpniausia autobuso vieta, kuriai reikia skirti didelį dėmesį, yra stogas ir šonai (Horstemeyer *et al.* 2007), todėl žemagrindžiuose autobusuose, kuriuose porėmis yra pažemintas 300 mm, labai svarbu užtikrinti patikimą ir stiprią konstrukciją, jungiančią porėmį su autobuso šonais. Jungiančiąją konstrukciją sudaro keli skirtingo skerspjūvio stačiakampio profilio vamzdžiai, kurie suvirinami tarpusavyje ir sujungiami tiek su porėmiu, tiek su autobuso šonais.

Siekiant, kad suvirintos konstrukcijos būtų pakankamai tvirtos ir būtų geros jų mechaninės savybės, suvirinime naudojamos nano technologijos. Nustatyta, kad naudojant nano daleles lazeriniame suvirinime labai pagerėja suvirinimo siūlių stiprumas (Kuznetsov *et al.* 2011). Ypatinga naujos technologijos ypatybė yra ta, kad į suvirinamą sujungimo vietą yra įdedama labai atsparių lydymuisi junginio miltelių (pavyzdžiui, titano karbidas) su nano dalelėmis. Naudojant tokią technologiją gali būti kontroliuojamas metalo kietėjimas suvirinimo procese.

Taip pat labai svarbu visas metalines konstrukcijas apsaugoti nuo korozijos, nes dėl jos patiriami metalo nuostoliai per metus sudaro apie 10–12 % viso išlydomojo metalo kiekio (Gallo 2011). Kaip vieną iš geriausių antikoroziųjų dangų Nithianamdam *et al.* (2006) savo straipsnyje išskiria *Quinone-diamine* polimerų dangą, kuri pasižymi dideliu įsisiskverbimu į metalus. Išskiriamos dvi svarbiausios šios dangos savybės: 1-oji nepaprastai gerai įsisiskverbia į metalus, net ir į auksą ir platiną, ir gali išstumti vandenį iš drėgnų ir surūdijusių paviršių; 2-oji pašalinusi vandenį, ši danga tampa nelaidžia drėgmei.

Kitas svarbus aspektas, su kuriuo susiduriama projektuojant ir gaminant transporto priemones, yra konstrukcijų saugumo bandymai. Siekiant sumažinti lėšas skirtas brangiems konstrukcijų bandymams, naudojami skaitiniai metodai ir modeliavimo programos, kuriomis gali būti atliktos dinaminės transporto priemonių kėbulo analizės, projektavimo stadijoje. Pagal gautus rezultatus galima nustatyti silpnąsias kėbulo vietas, kurios, veikiant didelėms apkrovoms, gali perlūžti (Gombor 2005).

Taip pat naudojantis modeliavimo programomis galima nustatyti kokie parametrai labiausiai įtakoja konstrukcijos deformaciją. Straipsnyje (Fang *et al.* 2010) atliko transporto priemonės susidūrimo modeliavimą. Modeliavimas buvo atliekamas panaudojant baigtinių elementų metodą (BEM). Automobilis buvo padalintas į baigtinius elementus, aprašyti ryšiai tarp atskirų elementų, įvestos pradinės sąlygos (svoris, energijos sugėrimo koeficientas, kėbulo deformacijos gylis). Atlikus kompiuterinį modeliavimą, kurio metu buvo keičiami pradiniai duomenys, gauti rezultatai parodė, kad transporto priemonės svorio sumažėjimas gali sumažinti kėbulo deformacijos gylį, esant nekintamai energijos sugėrimo koeficiento reikšmei.

Kiti modeliavimo rezultatai, kurie gauti atlikus konstrukcijos deformacijos simuliaciją, leidžia pagrįsti anksčiau pasakytą teiginį, kad didžiausią pavojų eismo dalyviui kelia smūgis į šoninę transporto priemonės dalį (Hongle *et al.* 2011). Lyginant smūgius į priekinę, į galinę ir į šoninę transporto priemonės dalį, didžiausi eismo dalyvių sužalojimai būna tuomet, kai smūgis koncentruotas į transporto priemonės šoninę dalį.

Dzerkelis *et al.* (2012) straipsnyje nagrinėję kėbulo deformacijas, jį veikiant statiškai, nustatė, kad rezultatai, gauti naudojant skaitinius metodus ir rezultatai gauti, atlikus modeliavimą, skiriasi apie du kartus. Skirtumą tarp gautų rezultatų įtakoja tam tikros prielaidos, kurios buvo priimtos siekiant supaprastinti konstrukciją. Tačiau vienu ar kitu būdu gauti rezultatai neviršija medžiagos takumo ribos.

Pakeitus autobuso konstrukciją pasikeičia apkrovos ant ašių bei svorio centro padėtis, nuo kurių tiesiogiai priklauso autobuso stovumas. Kadangi eismo įvykiai, susiję su autobusų virtimu, yra penkis kartus pavojingesni už kitus eismo įvykius (Mažulytė A. *et al.* 2014) atliekant konstrukcinius pakeitimus būtina užtikrinti šių parametru tinkamas reikšmes.

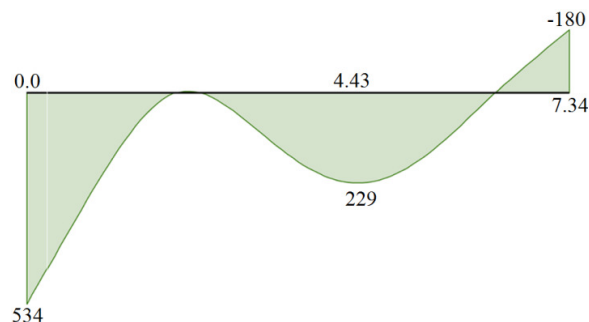
Kaip svorio centro pakitimas įtakoja autobuso stovumą galima nustatyti įvairiomis kompiuterinėmis modeliavimo programomis. Tačiau kaip teigia Sokolovskij (2007), kad gauti rezultatai būtų patikimi, būtina, kad su modeliavimo programa dirbtų patyręs specialistas.

### Porėmio atsparumo skaičiavimas

Atlikus atsparumo lenkimui skaičiavimus ir gavus rezultatus jie bus palyginti su rezultatais, gautais atlikus kompiuterinį modelio skaičiavimą „SolidWorks“ programa. Skaičiavimai atliekami kompiuterine programa „Static Beam“.

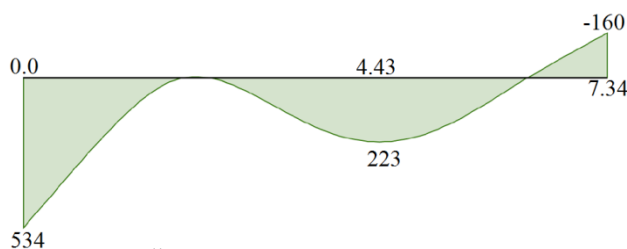
Pirmiausia skaičiavimai atliekami originaliam porėmiui, jį veikiant vertikalia išskirstyta apkrova

(20,23 kN/m). Kaip matyti iš 1 pav. didžiausias įlinkis susidaro 4,43 m atstumu nuo galinės ašies, ir siekia 229 mm.



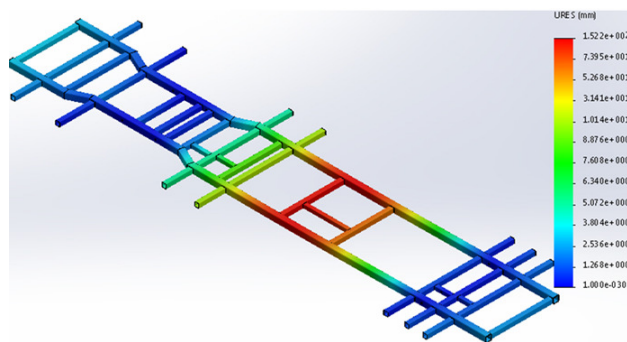
1 pav. Originalaus autobuso porėmio įlinkių diagrama

Veikiant išskirstytai apkrovai į žemintą porėmį (26,23 kN/m), didžiausias įlinkis susidaro toje pačioje vietoje, kaip ir originaliaame porėmyje, tačiau šiuo atveju didžiausias įlinkis siekia 223 mm (2 pav.). Toks įlinkių skirtumas gaunamas todėl, kad vertikali apkrova, veikianti į žemintą porėmį, yra labiau išskirstyta, tolygiai apkraudama visą porėmį.



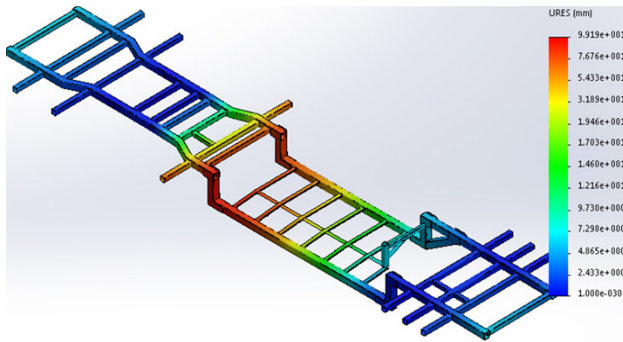
2 pav. Žeminto autobuso porėmio įlinkių diagrama

Modeliuojant porėmių apkrovimą vertikalia išskirstyta apkrova „SolidWorks“ programoje, originalų porėmį veikiant vertikalia išskirstyta apkrova (20,23 kN/m) didžiausias įlinkis susidaro toje pačioje vietoje, kaip ir skaičiuojant atsparumą, tik jis sumažėjo ir siekia 152 mm (3 pav.). Rezultatų skirtumą įtakoja tai, kad skaičiuojant pagal atsparumo sąlygas neįvertinami papildomi sujungimai (skersės), kurios įvertinamos „SolidWorks“ programoje.



3 pav. Įlinkiai originalaus mikroautobuso porėmyje

Veikiant išskirstytai apkrovai į žemintą porėmį (26,23 kN/m), didžiausias įlinkis persilenka link autobuso galo ir toje vietoje siekia 100 mm (4 pav.).



4 pav. Įlinkiai žemagrindžio mikroautobuso porėmyje

Lyginant įlinkius originaliame ir žemintame porėmyje (3 ir 4 pav.), jie sumažėjo 34 %.

### Porėmio modeliavimas „SolidWorks“ aplinkoje

Siekiant nustatyti ar žemagrindžio autobuso porėmio deformacijos šoninio smūgio metu neviršija originalaus porėmio deformacijos, atliekamas dar vienas modeliavimas.

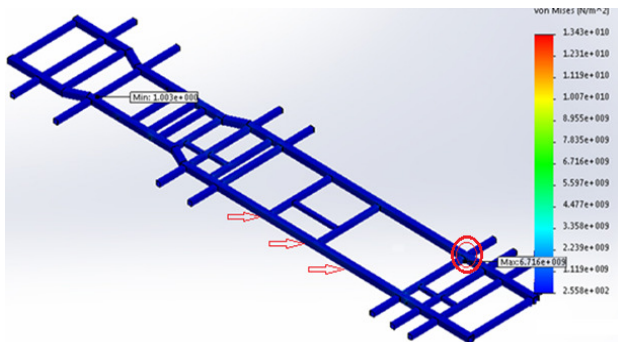
Energija, veikianti porėmį smūgio metu įvertinama pagal tokią formulę:

$$F = m \cdot a, \quad (1)$$

čia:  $m$  – transporto priemonės, kuri atsitrenkė į kitą transporto priemonę masė, kg. Priimu  $m = 4500$  kg;  $a$  – transporto priemonės, kuri atsitrenkė į kitą transporto priemonę pagreitis smūgio metu,  $m/s^2$ . Priimu  $a = 28,9$   $m/s^2$ .

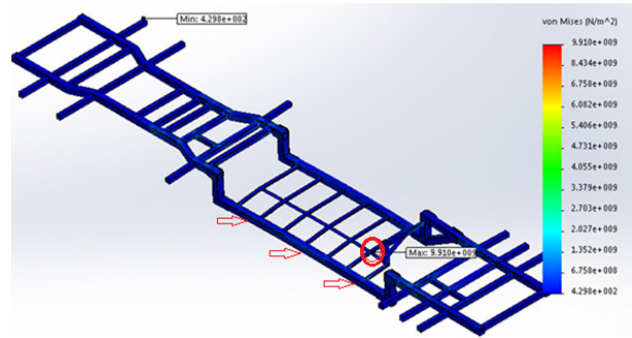
$$F = 4500 \cdot 28,9 = 130050 \text{ N.}$$

Originalaus autobuso porėmio įtempimų pasiskirstymai pateikti 5 pav. o žemagrindžio – 6 pav.



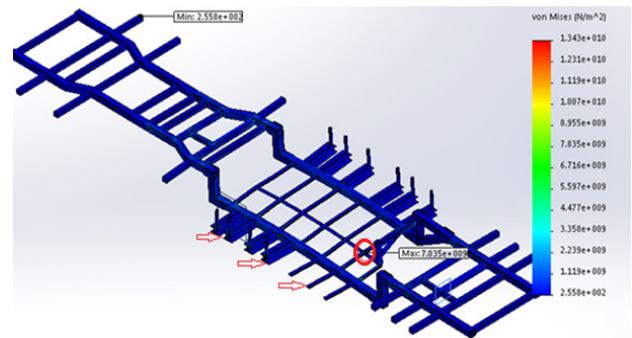
5 pav. Įtempimų pasiskirstymas originalaus autobuso porėmyje, veikiant smūgio energijai

Kaip matyti iš 5 pav., smūgio energijai veikiant į porėmio šoną, originalaus autobuso porėmyje susidaro 6716 MPa įtempiai. Šie įtempiai viršija takumo ribą (710 MPa). Tai yra normalu, nes smūgio metu susidaro didelė jėga, kuri deformuoja porėmį. Viršijus takumo ribą sumažėja plastiškumas ir įtempimai pradeda kisti nebetiesiškai. Porėmio konstrukcija ir gaminama tokiu principu, kad veikiant didelei apkrovai deformuotųsi ir sugertų dalį energijos, taip apsaugant keleivius.



6 pav. Įtempimų pasiskirstymas žemagrindžio autobuso porėmyje, veikiant smūgio energijai

Smūgio energijai veikiant žemagrindžio autobuso porėmį, susidaro 9910 MPa įtempiai, kurie ženkliai viršija takumo ribą (6 pav.). Įvertinus, kad smūgis tenka tiesiogiai į pagrindinę porėmio konstrukciją, nuspręsta prie jos pritvirtinti papildomą konstrukciją, kurį ne tik apsaugos pagrindinę konstrukciją nuo tiesioginio poveikio, bet ir sustiprins visą porėmį. Sprendimas su įtempimų pasiskirstymais pavaizduotas 7 pav.



7 pav. Įtempimų pasiskirstymas žemagrindžio autobuso porėmyje (patobulintas), veikiant smūgio energijai

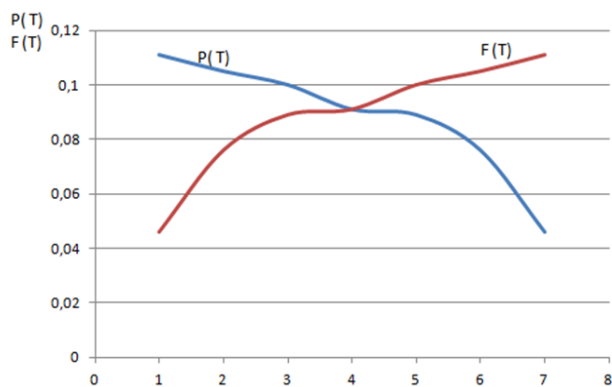
Esant tokiai porėmio konstrukcijai (7 pav.), veikiant smūgio energijai į porėmio šoną, žemagrindžio mikroautobuso porėmyje susidaro 7035 MPa įtempiai. Šie įtempiai koncentruojasi toje pačioje vietoje, tačiau yra mažesni už įtempius, kurie susidaro porėmyje, be papildomos konstrukcijos.

### Konstrukcijos patikimumas

Konstrukcijos patikimumo įvertinimui buvo pasirinkta 120 autobusų. Mažiausia rida iki pirmojo gedimo 20 000 km, didžiausia – 180 137 km.

Apskaičiavus vidutinę reikšmę  $\bar{T}_{vid}$ , vidutinį kvadratinį nuokrypį  $\sigma$  bei variacijos koeficientą  $\nu$  pasirenkamas Veibulo skirstinys, pagal kurį ir pasiskirto gedimai (apskaičiuota variacijos koeficiento reikšmė –  $\sigma = 0,4504$  ir kadangi variacijos koeficientas  $\nu = 0,4504 > 0,33$ , parenkamas Veibulo pasiskirstymo dėsnis).

Toliau pagal pateiktą metodiką apskaičiuojami pasikliautini intervalai, gedimų intensyvumo ir negendamo tikimybės (rezultatai pateikiami 8 pav.).



8 pav. Gedimų intensyvumo ir negendamumo grafikas

Pagal gautus grafikus (8 pav.) galima nustatyti, kio defektų skaičiaus galima tikėtis esant tam tikrai vidutinei ridai.

## Išvados

1. Išanalizavus mokslinius tyrimus ir publikacijas, susijusias su konstrukcijų kompiuteriniu modeliavimu, matyti, kad daugiausia dėmesio yra skiriama kėbulo deformacijai įvertinti, todėl šiame darbe buvo atliktas autobuso, originalaus ir žeminto porėmio, modeliavimas.

## Literatūra

- Dzerkelis, V.; Bazaras, Z.; Sapragnas, J.; Lukoševičius, V. 2012. Investigation of the experimental car body in static bending and torsion, *Mechanika* ISSN 1392–1207.
- Gombor, B. 2005. Dynamic analysis of a bus body frame: determination of the loads and stresses, *Vehicle System Dynamics* 43(11): 807–822.
- Gonzalo, E. G.; John, S. P.; Patrick, L. C. 2011. Corrosion monitoring of metals, *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 15(4): 633–647.
- Honglei, M.; Bingkun, L.; Shizhong, J.; Yanqiang, B.; Yanhua, X.; Chengwen, T.; Xiaodong, Y.; Huiliang, D. 2011. Simulation analysis for the safety protection of cervical vertebra under unusual landing impact, *International Journal of Crashworthiness* 16(5): 469–743.
- Horstemeyera, M. F.; Li, H.; Siervogel, J.; Kwasniewski, L.; Wekezer, J.; Christian, B.; Roufa, G. 2007. Material and structural crashworthiness characterization of paratransit buses, *International Journal of Crashworthiness* 12(5): 509–520.
- Kuznetsov, M. A.; Zernin, E. A. 2012. Nanotechnologies and nanomaterials in welding production, *Welding International* 26(4): 311–313.
- Mažylytė, A.; Žuraulis, V.; Sokolovskij, E. 2014. M2 ir M3 kategorijos autobusų stovumo tyrimas. *17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos Transporto inžinerija ir vadyba*, vykusių 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys, p. 107–111.
- Nithianandam, V. S.; Reddy, T. A.; Erhana, S. 2006. Diamine-Quinone Polymers as Effective Anticorrosive Coatings, *International journal of polymeric materials* 23(4): 167–175.
- Parka, C. K.; Kana, C. D.; Hollowell, W. T. 2014. Evaluation of crashworthiness of a carbon-fibrereinforced polymer (CFRP) ladder frame in a body-onframe vehicle, *International Journal of Crashworthiness* 19(1): 27–41.
- Sokolovskij, E. 2007. Computer modeling of the process of overturning of the automobile, *Transport* 22(1): 19–23.

2. Pagal atliktus porėmių atsparumo skaičiavimus, matyti, kad mažesni porėmio įlinkiai susidaro žemintame porėmyje.

3. Pagal atliktus porėmių modeliavimą, veikiant išskirstytai vertikaliai apkrovi (originalų porėmį 20,23 kN/m, žemintą porėmį – 26,23 kN/m), nustatyta, kad didžiausi įlinkiai originaliame porėmyje siekė 152 mm, žemintame – 100 mm ir t. y. 34 % mažiau nei originaliame porėmyje.

4. Porėmius veikiant smūgio energijai (130 050 N), kuri buvo apskaičiuota pagal formulę (1), originaliame porėmyje susidarė 6716 MPa įtempimai, o žemintame – 9910 MPa. Veikiant tokiai energijai, porėmiai stipriai deformuojasi ir tam tikrose vietose gali lūžti.

5. Atliktas žeminto porėmio konstrukcijos pakeitimas (7 pav.) didžiausius įtempimus sumažino apie 30 %. Esant tokiai konstrukcijai ir veikiant 130 050 N smūgio energijai, susidarė 7035 MPa įtempimai, kurie yra artimi originalų porėmių veikiantiems įtempimams.

6. Pagal gautus grafikus galima rasti atitinkamas tikimybes, kiek procentų autobusų bus su defektais esant tam tikrai ridai. Pvz. defektų tikimybė, esant 120 000 km ridai, yra 0,074 arba, kad iš 120 autobusų, defektus turės 8 autobusai.

7. Naudojantis sukurtu originalaus ir žemagrindžio porėmio modeliais, galima aprašyti tam tikrą metodiką, kuri leistų užtikrinti patikimą pagamintų autobusų konstrukciją.