

22-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
 vykusių 2019 m. lapkričio 22-23 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 22th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 22-23 November 2019, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 22-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 22-23 ноябрь 2019 г., Вильнюс, Литва

## INOVATYVIŲ MEDŽIAGŲ IR TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS TRANSPORTO PRIEMONIŲ GAMYBOS PRAMONĖJE: SUVIRINTŲ IR KLIJUOTŲ JUNGČIŲ Palyginimas

Tautvydas Pravilonis<sup>1</sup>, Edmundas Blėdis<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Vilnius, Lietuva  
 El. Pastas: <sup>1</sup>tautvydas.pravilonis@vgtu.lt; <sup>2</sup>edmundasbledis@gmail.com

**Santrauka.** Siekiant sumažinti nuosavą transporto priemonės masę, o tai tiesiogiai susiję tiek su transporto priemonės eksploatavimo kaštais, tiek su saugumu, tiek su aplinkos apsauga, konstrukcijose gali būti naudojamos inovatyvios medžiagos (kaip pvz. stiklo ar anglies pluoštas) bei jų sujungimo technologijos (kljavimas naudojant dvikomponenčius klijus). Kalbant apie tradicinius įvairių transporto priemonių rėmus, kurie yra gaminami tik iš plieno, viskas yra labai paprasta, nes atskiri vamzdžiai ar mazgai yra sujungiami juos suvirinant. Siekiant panaudoti inovatyvias medžiagas, tokias kaip stiklo pluoštą, transporto priemonių rėmų konstrukcijose, kyla problema, kaip sujungti dvi skirtingas medžiagas, plieną ir stiklo pluoštą, vienoje konstrukcijoje. Siekiant rasti atsakymą į šį klausimą, šiame darbe analizuojamas suvirintų jungčių ir klijuotų jungčių palyginamas atliekant tempimo bandymus. Taip pat įvertinamas svorio pokytis skirtinguose bandiniuose.

**Reikšminiai žodžiai:** plienas, stiklo pluoštas, klijai, tempimo bandymas, aplinkos apsauga, transporto priemonės svoris.

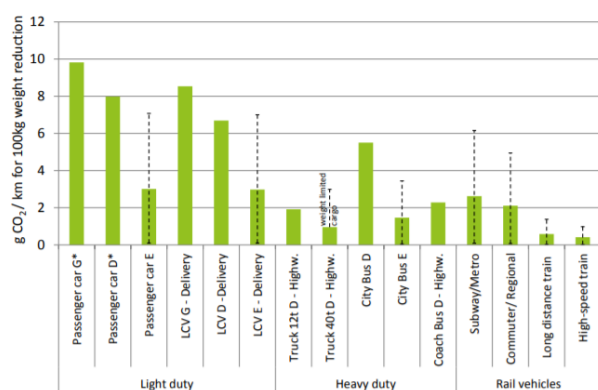
### Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais labai padidėjo energijos suvartojimas ir kenksmingų dalelių išmetimas. Nuolatinė transporto plėtra kelia vis didesnę grėsmę aplinkai. Šiuo metu transporto sektorius sudaro 19 % visos kenksmingos žmonių veiklos, ir pramonė turi rasti ekologiškus ir veiksmingus būdus, kaip sumažinti šį procentą (Žurauskienė *et al.* 2012). Visuotiniai klimato pokyčiai ir šiltnamio efektas verčia automobilių pramonę ieškoti būdų, kaip sumažinti energijos suvartojimą ir išmetamų teršalų kiekį. Didžiosios pasaulio valstybės nustato naujų transporto priemonių išmetamųjų teršalų normas, pavyzdžiui, Europos Sąjunga yra iškėlusius tikslą 95 g keleivinių automobilių anglies dioksido vienam kilometrui (Energy savings by... 2016).

Pateikti duomenys (1 pav.) rodo jog didžiausias išmetamo anglies dioksido kiekio sumažėjimas sumažinus svorį 100 kilogramų yra lengvųjų automobilių varomų benzinu, bei dyzelinu. Komercinės paskirties transportas ir miesto autobusai taip pat ženkliai sumažina anglies dvideginio išmetimą, keičiant jų svorį.

Vienas iš būdų kaip tai padaryti yra sumažinti transporto priemonės svorį.

Energijos ir aplinkos instituto (IFEU) atliktais tyrimais buvo nustatytas anglies dioksido išmetimo į aplinką sumažinimas, bei degalų sąnaudų sumažėjimas, sumažinus transporto priemonės svorį (Energy savings by... 2016).



1 pav. Anglies dioksido išmetimo į aplinką sumažėjimas, sumažinus svorį (Energy savings by... 2016).

Automobilio svoris turi įtakos ne tik energijos suvartojimo, bei užterštumo klausimams, svoris yra tiesiogiai

susijęs su eksploatacijos trukme. Automobilio įvairios kėbulo, važiuoklės detalės yra veikiamos sunkio ir inercijos jėgų, kurių dydis priklauso nuo transporto priemonės svorio, kuo didesnės šios jėgos bus, tuo trumpiau tarnaus automobilio detalės, nes jos greičiau dėvės.

Autobusų, tiek didžiųjų, tiek vidutinio dydžio, svoris yra taip pat labai opus klausimas. Šio tipo transporto priemonės turi labai dažnai sustoti keleivių įlaipinimo, išlaipinimo stotelėse. Kuo sunkesnė transporto priemonė ir kuo dažniau jai reikia sustoti bei iš naujo pajudėti, labai padidėja degalų sąnaudos. Sumažinus transporto priemonės svorį, būtų proporcingai sumažintos autobusų eksploataavimo sąnaudos.

Alternatyvių energijos taupymo sprendimų paieška labai glaudžiai susijusi su naujų transporto priemonių kūrimu ir tobulinimu, sumažinant jų neigiamą poveikį aplinkai. Aliuminio lydiniai, stiklo pluoštas yra vienos iš perspektyviausių medžiagų, galinčių sumažinti svorį visoje transporto priemonių rūšyse (Arenas et al., 2010). Jos taip pat yra žymiai lengviau perdirbamos medžiagos, lyginant su plienu.

Siekiant panaudoti inovatyvias medžiagas, tokias kaip stiklo pluoštą (stiklo pluoštas yra 7 kartus lengvesnis, lyginant su plienu), transporto priemonių rėmų konstrukcijose, kyla problema, kaip sujungti dvi skirtingas medžiagas, plieną ir stiklo pluoštą, vienoje konstrukcijoje.

## Medžiagos

### Plienas

Plienas yra vienas iš dažniausiai gamyboje naudojamų metalo rūšių. Plienas yra išgaunamas iš mineralinių uolienų, kurios yra vadinamos metalų rūda. Šiame projekte pasirinkta naudoti, feritinį nerūdijantį plieną EN 1.4003. Feritiniuose nerūdijančiuose plienuose, kurie kartais vadinami chrominiais plienais, paprastai yra nuo 12 iki 25 % chromo, o kai kuriose kitose markėse yra nedidelis molibdeno ar titano priedų kiekis. Jie pasižymi puikia apsauga nuo korozijos, tačiau yra palyginti minkšti; jų mechaninės savybės yra beveik tame pačiame lygmenyje kaip įprastinio neanglingo plieno. Feritiniai nerūdijantys plienai labai lengvai suvirinami. Tokie nerūdijantys plienai yra magnetiniai (Nerūdijantis feritinis plienas... 2019).

### Aliuminis

Aliuminis yra vienas iš lengviausių metalų, tačiau jis taip pat yra ir palyginti tvirtas, atsparus korozijai, gerai praleidžia elektros srovę ir šilumą, yra lengvas, stiprus, plastiškas. Gamybai naudojami aliuminio lydiniai su tam tikrais legiruojančiais elementais, priklausomai nuo reikiamų lydinio savybių. Šiam konkrečiam projektui pasirinkta naudoti EN AW-6082 aliuminio lydinį. Šis lydinys yra labai tvirtas ir atsparus. Jis pasižymi geru suvirinamumu ir anodavimu. Atsparumas tempimui 310 MPa, kietumas 94 HBS (Aliuminio lydinų savybės... 2019).

### Stiklo pluoštas

Stiklo plastikas – tai kompozitas iš stiklo pluošto ar stiklo audinio ir termoreaktyviosios dervos (Stiklaplastikis... 2018). Šių dervų pagrindas – skystos poliesterio, vinilo,

epoksidinės ir fenolio dervos. Pastarosios suteikia antikorozinių ypatybių, o dervų įvairovė padaro medžiagą atsparią korozijos poveikiui. Stiklo pluošto gaminiams būdingas didelis mechaninis atsparumas (stiprio riba 1,5-4 GPa). Stiklo pluoštas pasižymi geromis adhezinėmis savybėmis, jis inertiškas aplinkos poveikiams (Arenas et al. 2010). Konstrukcijos iš stiklo pluošto kompozito atsparios korozijai bei įvairioms cheminėms medžiagoms.

Šiame projekte naudojami stiklo pluošto vamzdžiai pagaminti taikant pultruzijos technologiją. Pultruzija – viena iš sparčiausiai populiarėjančių, sudėtingų stiklo plastiko gaminių gamybos technologijų. Pultruzijos metu stiklo pluoštas impregnuojamas derva ir veikiamas tam tikros traukos jėgos, juda per šampą, kuris suformuoja stiklo pluošto profiliuotį (Hota et al. 2006). Kietinimas vyksta įkaitusioje krosnyje, taip sukietėja dervos. Suformuotas stiklo pluošto profiliuotis supjaustomas reikiamu ilgiu. Stiklo pluošto profilių paviršiai būna padengti papildomu pluošto audiniu, kad būtų garantuotas UV ir oro sąlygų atsparumas.

## Sujungimo būdai

### Suvirinimas

Suvirinimas yra vienas iš dažniausiai naudojamų būdų sujungti metalus. Suvirinus metalinius komponentus, jie sujungiami į neišardomą konstrukciją. Norint gauti kokybišką suvirintą jungtį reikia tinkamai parinkti elektros įtampą, srovės stiprumą, virinimo eiliškumą, virinimo greitį. Virintinė jungtis ir sujungti elementai turi išlaikyti lygiavertį stiprį (Kvedaras et al. 2017).

Nerūdijantis plienas yra virinamas MIG būdu (žymėjimas 131), kuriam naudojamos apsauginės inertinės dujos. Šio proceso metu virinama naudojant lydžius elektrodus, procesas atliekamas apsauginių dujų aplinkoje. Aliuminio lydinys dėl savo specifinės struktūros turi būti virinamas skirtingai nei konstrukcinis plienas ar nerūdijantis plienas. Virinti aliuminio lydinio karkasą naudojamas suvirinimas nelydžiuoju elektrodu apsauginių dujų aplinkoje TIG (žymėjimas 141). (Gedzevičius et al. 2009).

Remiantis lygiareikšmio stiprumo sąlyga, skaičiuojamosios jungties leistinos apkrovos tempiant nustatomos pagal formulę (1):

$$F = [\sigma]_t \cdot A, \quad (1)$$

čia:  $[\sigma]_t$  – tempimo leistinieji įtempiai (MPa); A – skerspjūvio plotas ( $m^2$ ).

Apskaičiuojame siūlės skerspjūvio plotą, Profiliams, kurių storis iki 6 (mm) minimalus siūlės plotis yra 3 (mm) (Technical welding industry...).

$$A = a \cdot l = 0,003 \cdot 0,145 = 4,35 \cdot 10^{-4} m^2.$$

Nerūdijančio plieno plieno (EN 1.4003) tempimo leistinieji įtempiai:

$$[\sigma]_t = 450 MPa$$

Apskaičiuojame leistinas apkrovas tempiant:

$$F = 450 \cdot 10^6 \cdot 4,35 \cdot 10^{-4} = 195,75 kN.$$

Įvedame atsargos koeficientą mažaaangliams plienams ( $n_0=1,6$ ) (Sujungimai. Suvirintieji sujungimai...2015):

$$F = \frac{195,75}{1,6} = 122,34 \text{ kN.}$$

### Klijavimas

Klijavimas tai toks procesas, kurio metu vienos rūšies arba skirtingos medžiagos sujungiamos į vieną gaminį. Tokia jungtis turi ne vieną privalumą. Ji visiškai išsaugo struktūrą, fizikines savybes bei estetinę išvaizdą siūlės srityje (Mačiulaitis 2016).

Kai kurie autoriai teigia, kad norint gauti geresnį klijuotos jungties stiprumą, būtina įvertinti klijuojamo sluoksnio storį ir persidengimo ilgį (Ahire ir Kachave 2017). Tinkamas klijų storio pasirinkimas gali duoti labai gerus klijuotos jungties rezultatus. Kai kurie mokslininkai tyrė jungtį, kur klijų storis svyruoja nuo 0,2 mm iki 0,8 mm. Atlikę tempimo bandymus, jie nustatė, kad: jei storis yra nuo 0,4 mm iki 0,8 mm, kirpimas iš esmės yra vienodas, o vidutinė šlyties stiprio vertė didėja mažėjant klijų storiui (Arenas *et al.* 2010).

Persidengimo ilgis taip pat yra svarbus klijuotos jungties parametras, kuris turi įtakos klijuotos jungties stiprumui.

Didesnis persidengimo ilgis gali sukelti vidutinį šlyties įtempio ir sukibusių sluoksnių poslinkio sumažėjimą (Kelly 2003). Naudodami formulę (2) ir atliktų bandymų rezultatais autoriai nustatė, kad optimalus persidengimo ilgis yra 21 mm (Majid *et al.* 2016).

$$L = (\sigma \cdot y \cdot t) / \tau, \quad (2)$$

čia: L – persidengimo ilgis, mm; t – metalo storis, mm; y – metalo takumo riba, MPa;  $\tau$  – 50 procentų apskaičiuoto vidutinio šlyties stiprio, esant klijuotai jungčiai, MPa.

Mūsų nuomone, persidengimo ilgis, kuris yra 21 mm, yra nepakankamas. Tai teigia ir kiti autoriai. Kiti autoriai atlikdami bandymus, pasirinkimo 40 mm ilgio persidengimą, nurodydami, kad 40 mm yra optimalus ilgis maksimaliam sujungimo stiprumui (Kadam *et al.* 2015).

Klijuotai jungčiai, kuri nagrinėjama šiame darbe naudojami „ACRALOCK SA 10-35 HVBLK“ dvikomponentiniai klijai. Šie klijai yra skirti metalo ir kompozitinio stiklo pluošto klijavimui. Jie pasižymi geromis jungties stipruminėmis savybėmis, atsparūs nuovargiui ir smūgiams, suklijuota jungtis yra elastinga, todėl sumažinama rizika atsirasti įtrūkimams eksploatacijos metu (Klijai „ACRALOCK“... 2019).

Klijų techninės charakteristikos pateiktos pirmoje lentelėje (Klijai „ACRALOCK“... 2019).

**Lentelė 1.** Klijų techninės charakteristikos (Klijai „ACRALOCK“ ... 2019)

Tempimo stipris	21-24 MPa
Jungo modulis	550 MPa
Pailgėjimas iki trūkio	150%-200%
Skersinės šlyties stipris	14-17 MPa
Darbo temperatūra	-55° – 120° C

### Ekspimentiniai bandymai

Ekspimentiniu būdu buvo atlikti tiek suvirintų, tiek

dviejų tipų klijuotos jungties stipruminių savybių palyginimas. Pirmieji bandiniai buvo paruošti iš plieno EN 1.4003. Profilių matmenys 40x40x3 (2 pav.) Bandinio svoris yra 2,6 kg.



**2 pav.** Suvirintos jungties bandinys.

Bandinys buvo tempiamas naudojant „TIRA 2300“ tempimo mašiną (3 pav.).



**3 pav.** Suvirintos jungties tempimo bandymas.

Antrasis ruošinys buvo pagamintas iš aliuminio lydinio ir stiklo pluošto, juos klijuojant dvikomponentiais klijais (Acralock SA-10 HV) (4 pav.). Bandinio svoris yra 0,4 kg.



**4 pav.** Klijuotos jungties bandinys (aliuminis + stiklo pluoštas).

Trečiasis bandinys buvo pagamintas iš plieno ir stiklo pluošto, jungiant tais pačiais dvikomponentiais klijais (5 pav.). Bandinio svoris yra 0,7 kg.



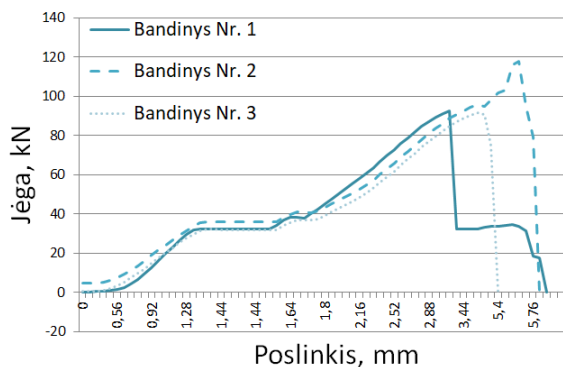
**5 pav.** Klijuotos jungties bandinys (plienas + stiklo pluoštas).

Ruošiniai buvo tempiami naudojant „TIRA 2300“ tempimo mašiną (6 pav.).



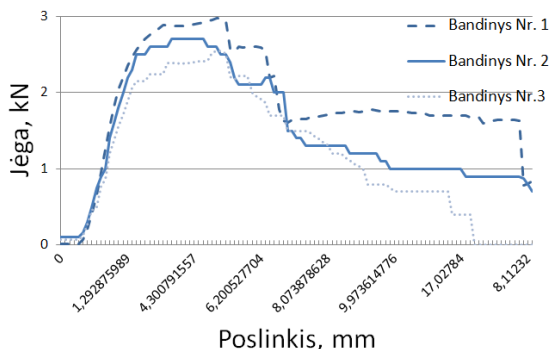
6 pav. Klijuotų jungčių tempimo bandymai.

Atlikus jungčių bandymus palyginome suvirintos ir klijuotų jungčių stiprius. Suvirinta jungtis atlaikė didesnes apkrovas, nei klijuotos jungtys. Suvirintos jungties tempimo bandymų rezultatai parodyti 7 paveiksle.



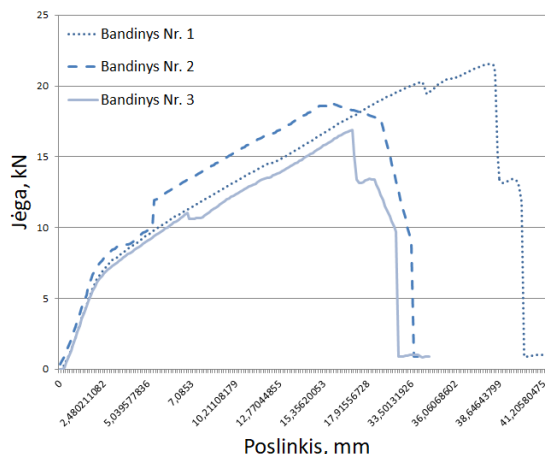
7 pav. Suvirintos jungties tempimo bandymų rezultatai.

Klijuotų jungčių tempimo bandymų rezultatai parodyti 8 ir 9 paveiksluose.



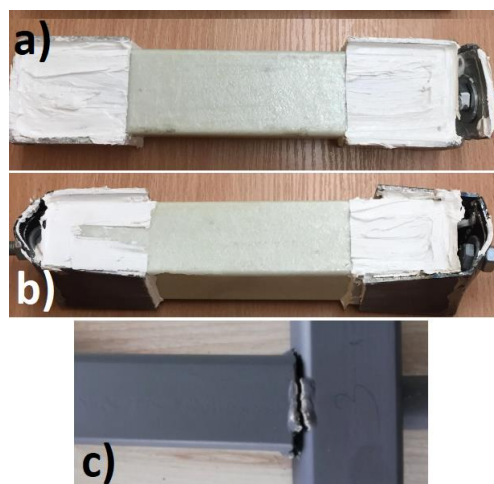
8 pav. Klijuotos jungties tempimo bandymų rezultatai (aliuminis + stiklo pluoštas).

Klijuota plieninė jungtis atlaikė daug didesnes apkrovas (21,5 kN), nei aliumininė (3 kN).



9 pav. Klijuotos jungties tempimo bandymų rezultatai (plienas + stiklo pluoštas).

Visų jungčių vizualūs rezultatai po tempimo bandymų parodyti 10 paveiksle.



10 pav. Jungtys po tempimo bandymų: a) aliuminis + stiklo pluoštas; b) aliuminis + stiklo pluoštas); c) suvirinta jungtis.

Hibridinė plieno + stiklo pluošto jungtis nutrūko per klijuotą jungtį, tačiau prieš suyrant klijų sluoksniui, virintinė jungtis deformavosi plastiškai, tai įrodė didelę klijuotos jungties stiprį. Hibridinė aliuminio lydinio + stiklo pluošto jungtis parodė prastesnius rezultatus, ji nutrūko ties virintine jungtimi, o klijuota jungtis liko nepažeista.

## Išvados

1. Išanalizavus informacija apie svorio įtaką transporto priemonių eksploataavimo sąnaudoms ir įtaką aplinkai, galima teigti, kad inovatyvios medžiagos ir jų panaudojimas transporto priemonių gamyboje turi dideles perspektyvas.
2. Hibridinės jungtys, kur plienas dalinai pakeičiamas stiklo pluoštu yra lengvesnės apie 5 kartus.
3. Suvirinta jungtis parodė geriausius rezultatus tempimo bandyme, didžiausia jėga, kurą atlaikė bandinys buvo 120 kN. Pagal teorinius skaičiavimus, tokia suvirinta jungtis turėjo atlaikyti 122,34 kN apkrovą.
4. Hibridinė plieno ir stiklo pluošto jungtis atlaikė 21,5 kN jėgą. Tokia jungtis yra 5 kartus silpnesnė nei

suvirinta jungtis.

5. Hibridinė aliuminio ir stiklo pluošto jungtis atlaikė tik 3 kN apkrovą. Tokia jungtis yra 7 kartus silpnesnė už plieno ir stiklo pluošto jungtį ir net 40 kartų silpnesnė už suvirintą jungtį. Tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad ši jungtis nutrūko ne per klijuotą jungtį, o per suvirinimo siūlę (10 pav.).
6. Siekiant gauti geresnius klijuotos jungties rezultatus, reikia atlikti klijų analizę ir pasirinkti klijus, kurie duotų geresnį rezultatą, taip pat reikia sudaryti tinkamą klijuotos jungties paruošimo technologinį aprašymą.

## Literatūra

- Ahire, B. S.; Kachave, A. D. 2017. Comparison of Riveted, Bonded & Hybrid Joints using FEA, *International Advanced Research Journal in Science. Engineering and Technology*, 4: 25-30.
- Aliuminio lydinių savybės. 2019. Prieiga per internetą: <https://www.alumeco.lt/profiliai/juostos/en-aw-6082/12-x-5-mm/p/560/14150>;
- Arenas, M. J.; Narbon, J. J.; Alia, C. 2010. Optimum adhesive thickness in structural adhesives joints using statistical techniques based on Weibull distribution. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30:160-165.
- Energy savings by light-weighting. 2016. Prieiga per internetą: <https://european-aluminium.eu/media/1856/ifeu-energy-savings-by-light-weighting-2016.pdf>
- Gedzevičius, I.; Kazakevičius, Č. 2009. *Suvirinimo Technologija. Suvirinimo režimų skaičiavimų metodiniai nurodymai*. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, ISBN 978-9955-28-418-5;
- Hota, V.S.; GangaRao, N.; Taly, P. V. 2006. *Reinforced Concrete Design with FRP Composites*. ISBN 9780824758295.
- Kadam, A. D.; Desai, K. V.; Chumble, P. 2015. Modal Analysis of an Adhesive Joint 2015; *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(6):4137–4145.
- Kelly, G. 2005. Load transfer in hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints 2005; *Composite Structures*, 69(1): 35–43, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.04.016>.
- Klijai „ACRALOCK“ . 2019. Prieiga per internetą: <http://acralock.com/datasheets.asp>.
- Kvedaras, A. K.; Rasiulis, K.; Šapalas, A.; Šapalas, V.; Šaučiūvėnas, G.; Urbonas, K.; Zabulionis, D. 2017. *Plieninės konstrukcijos, elementai ir jungtys*, Vilnius: VGTU leidykla „Technika“., ISBN 978-609-457-943-1.
- Mačiulaitis, R. 2016. *Statybiniai polimerai*. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, ISBN 978-609-457-890-8.
- Majid, M.; Afendi, M.; Lieh, W. W.; Hafizan, K. 2016. Strength of composite hybrid joint, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1):216–221.
- Nerūdijantis feritinis plienas. 2019. Prieiga per internetą: <https://www.tibnor.lt/our-offer/medziagos/nerudijantis>
- Stiklaplastikis. 2018. Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Stiklaplastikis>
- Sujungimai. Suvirintieji sujungimai. 2015. Prieiga per internetą: <http://mechanikosinzienerius.lt/wp-content/uploads/2015/08/me1-05.pdf>
- Technical welding industry. 2015. Prieiga per internetą: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-how-do-you-determine-the-minimum-size-of-a-fillet-weld>
- Žurauskienė, R.; Naujokaitis, A. P.; Mačiulaitis, R.; Žurauskas, R. 2012. *Statybinės medžiagos*, Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, ISBN 978-609-457-203-6.