



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Juozas Samulionis**

**ĮTEMPIMŲ BŪVIO TYRIMAS UŽLEISTINIUOSE TAŠKINIUOSE  
SUVIRINTUOSE SUJUNGIMUOSE, ESANT SKERSINIAM  
APKROVIMUI**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. Dainius Vaičiulis

**PANEVĖŽYS, 2017**

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

**ĮTEMPIMŲ BŪVIO TYRIMAS UŽLEISTINIUOSE TAŠKINIUOSE  
SUVIRINTUOSE SUJUNGIMUOSE, ESANT SKERSINIAM  
APKROVIMUI**

Baigiamasis magistro projektas  
**Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. Dainius Vaičiulis

(data)

**Recenzentas**

(parašas)

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Juozas Samulionis

(data)



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

---

(Fakultetas)

Juozas Samulionis

---

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Baigiamasis magistro projektas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. gegužės 29 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, Juozo Samulionio, baigiamasis projektas tema „Įtempimų būvio tyrimas užleistiniuose taškiniuose suvirintuose sujungimuose, esant skersiniam apkrovimui“ 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)

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui:

Juozui Samulioniui

Grupė:

PMM – 5

**1. Darbo tema** patvirtinta 2017 m. kovo mėn. 30 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-8:

Lietuvių kalba: *Įtempimų būvio tyrimas užleistiniuose taškiniuose suvirintuose sujungimuose, esant skersiniam apkrovimui*

Anglų kalba: *Research on the Stress State in Lap Welded Joints with Spot Welds under Transverse Load*

**2. Darbo tikslas:**

*Ištirti kaip įtempimų būvio dedamosios pasiskirsto kontaktiniame taškiniame suvirintame sujungime priklausomai nuo taškinio suvirinimo tipo ir geometrinių rodiklių.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

*Tyrimą atlikti taikant skaitinius metodus. Ištirti uždarą ir atvirą taškinius suvirintus sujungimus. Rasti pavojingąsias (labiausiai apkrautas) suvirintojo sujungimo vietas. Nustatyti kaip įtempimų būvio dedamosios kontaktiniame taškiniame suvirintame sujungime priklauso nuo suvirinimo taško skersmens, įvirinimo gylio ir lakštų storio.*

**4. Projekto struktūra.** Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

*Literatūros apžvalga, Tiriamoji dalis, Išvados ir Literatūros sąrašas.*

**5. Ši užduotis yra neatskiriama magistro baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

2017-05-29

(data)

Užduotį gavau:

Juozas Samulionis

(studento vardas, pavardė, parašas)

2017-02-01

(data)

Vadovas:

doc. Dainius Vaičiulis

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2017-02-01

(data)

## SANTRAUKA

Juozas Samulionis. Įtempimų būvio tyrimas užleistiniuose taškiniuose suvirintuose sujungimuose, esant skersiniam apkrovimui. Magistro baigiamasis darbas. Vadovas doc. Dainius Vaičiulis, Kauno technologijų universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Technologijos mokslai. Mechanikos inžinerija.

Raktiniai žodžiai: *taškinis suvirinimas, skersinis apkrovimas, įtempimų būvis, stiprumas.*

Panevėžys, 2017. 49 p.

Magistro baigiamajame projekte atlikta literatūros šaltinių apžvalga, apie kontaktinius taškinius suvirintus sujungimus, bei iširta, kaip įtempimų būvis užleistame kontaktiniame taškiniame suvirintame sujungime su vidiniu, bei išoriniu suvirinimo tašku priklauso nuo įvirinimo gylio, suvirinimo taško skersmens, lakšto storio, suvirinimo taško atstumo nuo lakšto krašto, bei suvirinimo taškų kiekio suvirintame sujungime. Tyrimas buvo atliktas taikant baigtinių elementų metodą, naudojant: *SolidWorks Simulation*. Atlikus tyrimą nustatyta, kad didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taške, kur lakštai yra plėšiami vienas nuo kito. Pavojingoje suvirinto sujungimo vietoje įtempiai keletą kartų didesni susidaro vidiniame suvirinimo taške lyginant su išorine suvirinimo tašku.

## SUMMARY

Juozas Samulionis. Research on the Stress State in Lap Welded Joints with Spot Welds under Transverse Load. Master studies final work. Supervisor doc. Dainius Vaičiulis, Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technologies and Business.

Technological sciences: Mechanical engineering.

Key words: spot weld, transverse load, stress state, strength.

Panevėžys, 2017. 49 p.

Literature review about contact spot welded joints was made in this Masters final work before research. Research on how stress state depends on welding depth, weld width, metal sheet thickness, weld distance from sheet metal edge and amount of welds in contact spot welded lap joint with inner and outer weld was made. Finite elements method and SolidWorks Simulation program were used. Research results identify that maximum stresses would appear in weld when sheets of metal are pulled one from another. In the most loaded zone of welded joint stresses are few times larger in the inner weld than in the outer weld.

# Turinys

|   |    |
|---|----|
| 1. Informacijos šaltinių apžvalga .....   | 12 |
| 1.1 Kontaktinis taškinis suvirinimas .....  | 12 |
| 1.2 Mokslinių tyrimų apžvalga .....   | 13 |
| 2 Įtempių būvio tyrimas .....   | 19 |
| 2.1 Tyrimų modelis .....  | 19 |
| 2.2 Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas .....   | 20 |
| 2.2.1 Labiausiai apkrautos vietos nustatymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....   | 21 |
| 2.2.2 Labiausiai apkrautos vietos nustatymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku ..... | 26 |
| 2.2.3 Įtempių priklausomybė nuo įvirinimo gylio .....   | 34 |
| 2.2.4 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens .....                                      | 35 |
| 2.2.5 Įtempių priklausomybė nuo lakšto storio.....  | 37 |
| 2.2.6 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taško atstumo iki lakšto krašto .....                      | 39 |
| 2.2.7 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taškų skaičiaus.....                                       | 40 |
| Išvados.....  | 47 |
| Literatūra .....  | 48 |

## Paveikslų sąrašas

|   |    |
|---|----|
| 1 pav. Taško sandara.....   | 12 |
| 2 pav. Kontaktinio taškinio suvirinimo būdai.....   | 13 |
| 3 pav. Suvirinimo įranga skita sudaryti įvairioms suvirinimo aplinkoms.....   | 14 |
| 4 pav. Įtempių pasiskirstymas suvirinimo taške.....   | 16 |
| 5 pav. Plieno lakštai po ciklinio tempimo bandymo.....  | 17 |
| 6 pav. Suvirinimo taškų išdėstymo būdai.....  | 18 |
| 7 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku skaičiavimo schema.....   | 19 |
| 8 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku skaičiavimo schema.....  | 19 |
| 9 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas apkrautame suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....  | 20 |
| 10 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku modelio koordinatinių sistema.....  | 20 |
| 11 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas apkrautame suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....  | 21 |
| 12 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku modelio koordinatinių sistema.....   | 21 |
| 13 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....        | 22 |
| 14 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....     | 22 |
| 15 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško viršutinį kontūrą sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....                                 | 23 |
| 16 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....                                   | 23 |
| 17 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....  | 24 |
| 18 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....          | 25 |
| 19 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame per suvirinimo taško simetrijos ašį sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....                    | 25 |
| 20 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....    | 26 |
| 21 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....       | 27 |
| 22 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku..... | 27 |



|   |    |
|---|----|
| 23 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....  | 28 |
| 24 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....                                     | 29 |
| 25 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pradžioje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 29 |
| 26 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame per suvirinimo taško simetrijos ašį sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 30 |
| 27 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pabaigoje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 30 |
| 28 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą skersai suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 31 |
| 29 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško kraštą viršutiniame lakšte sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 31 |
| 30 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško centrą ir viršutinį lakštą sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....   | 32 |
| 31 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško galinį kraštą viršutiniame lakšte sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....  | 33 |
| 32 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške A priklausomybė nuo įvirinimo gylio $g$ suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....                                     | 34 |
| 33 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške D priklausomybė nuo įvirinimo gylio $g$ suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....                                    | 35 |
| 34 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku labiausiai apkrautoje vietoje kylančių įtempių intensyvumo $\sigma_i$ priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens $d$ .....            | 36 |
| 35 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku labiausiai apkrautoje vietoje kylančių įtempių intensyvumo $\sigma_i$ priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens $d$ .....           | 36 |
| 36 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške A priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku.....                       | 38 |
| 37 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške D priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....                      | 38 |
| 38 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške A priklausomybė suvirinto sujungimo nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku..... | 40 |
| 39 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ charakteringame taške D priklausomybė suvirinto sujungimo nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto sujungime su išoriniu suvirinimo tašku.....            | 40 |
| 40 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant dviem suvirinimo taškams.....   | 41 |

|   |    |
|---|----|
| 41 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant trimis suvirinimo taškams.....    | 42 |
| 42 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant keturiems suvirinimo taškams..... | 42 |
| 43 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant penkiems suvirinimo taškams.....  | 43 |
| 44 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant dviem suvirinimo taškams.....      | 43 |
| 45 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant trimis suvirinimo taškams.....     | 44 |
| 46 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant keturiems suvirinimo taškams.....  | 45 |
| 47 pav. Įtempių intensyvumo $\sigma_i$ pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant penkiems suvirinimo taškams.....   | 45 |
| 48 pav. Suvirintų sujungimų su keliais suvirinimo taškais palyginimas.....  | 46 |

# ĮVADAS

Suvirinti sujungimai yra racionaliausi ir labiausiai paplitę neišardomi sujungimai. Suvirintų sujungimų privalumai: galimybė gauti didelių gabaritų detales, detalių masės sumažėjimas lyginant su lietomis, bei kniedytomis detalėmis [1].

Kontaktiniame taškiniame suvirinime elementai yra sulydomi atskiruose taškuose. Taškiniu suvirinimo vietoje per spaudžiamus elektrodus yra leidžiama srovė, kontaktavimo zonoje, ruošinys įkaista ir pradeda lydėtis. Tuo momentu srovė išjunginama, nutraukiamas spaudimas, temperatūrai krintant iš išlydyto metalo susikristalizuoja suvirinimo taškas [2].

Tačiau suvirintieji sujungimai turi ir trūkumų. Dėl kaitinimo terminio poveikio zonoje netoli suvirinimo taško pasikeičia pagrindinio metalo mechaninės savybės, suvirinimo taškai yra įtempių koncentratoriai, kas žymiai sumažina jungties stiprumą [1].

Kontaktinis suvirinimas gamyboje sudaro apie 30 % visų suvirintų sujungimų [2]. Plačiausiai naudojami kontaktinio suvirinimo būdai: sandūrinis, taškinis, juostinis [1].

Kontaktinis suvirinimas gamyboje užima pakankamai nemažą visų suvirintų sujungimų dalį, todėl darbe nuspręsta ištirti, kaip įtempiai priklauso nuo suvirinimo taško ir lakšto geometrinių parametru, bei suvirinimo taškų kiekio suvirintame sujungime.

**Darbo tikslas:** ištirti, kaip įtempių būvis pasiskirsto suvirintame kontaktiniame taškiniame sujungime. Nustatyti įtempių priklausomybę nuo suvirinimo taško ir lakšto geometrinių parametru.

## **Darbo uždaviniai:**

1. Padaryti informacijos šaltinių apžvalgą.
2. Nustatyti įtempių būvio pasiskirstymą kontaktiniame taškiniame suvirintame sujungime su vidiniu ir išoriniu suvirinimo tašku.
3. Nustatyti, kaip suvirinto sujungimo pavojingiausioje vietos įtempiai priklauso nuo keičiamų suvirinimo taško ir lakšto parametru.
4. Nustatyti, kaip įtempiai pasiskirsto suvirintame sujungime, kai suvirintas sujungimas yra suvirintas su daugiau nei vienu suvirinimo tašku.

**Tyrimų metodai:** literatūros analizė, baigtinių elementų metodas.

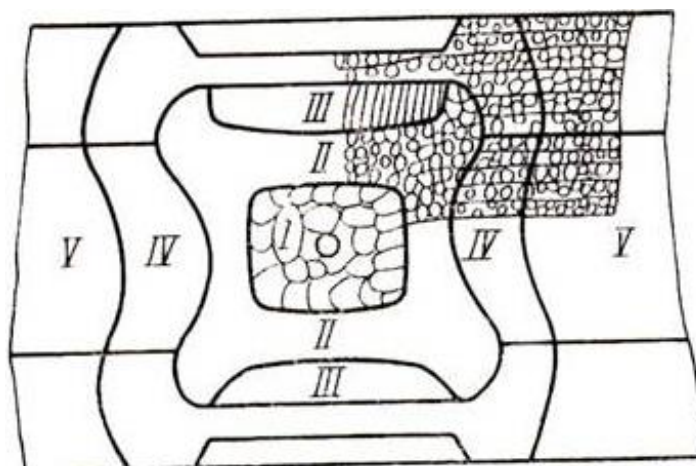
**Darbo aprobavimas ir publikacijos.** Dalyvauta studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2017“, vykusioje Panevėžyje 2017 m. balandžio 28 d. Skaitytas pranešimas tema „Taškinių suvirintųjų sujungimų stiprumas, esant statiniam skersiniam apkrovimui“.

**Darbo apimtis ir struktūra.** Baigiamąjį magistro projektą sudaro akademinio sąžiningumo deklaracija, baigiamojo projekto užduotis, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, du skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis 49 p.

# 1. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ APŽVALGA

## 1.1 Kontaktinis taškinis suvirinimas

Naudojant kontaktinį taškinį suvirinimą ruošiniai yra sujungiamas ne ištisine siūle, o atskiruose taškuose [2]. Kontaktinis suvirinimas, tai toks suvirinimo būdas, kai esant žemai įtampai (0,5-36 V) ir didelio stiprio srovei (100-300 000 A) suspaudus ruošinius per vandeniui aušinamus varinius elektrodus yra paleidžiama srovė. Paleista srovė įkaitina sąlyčio zoną iki plastinio būvio arba iki tol, kol apsilydo. Išoriniuose ruošinio zonose susidaro plastiški labai maži tūriai, o vidinis išsilydo. Tuo momentu yra išjungiamas maitinimas, nutraukiamas spaudimas, temperatūra sąlyčio zonoje krinta ir išlydytas metalas susikristalيزuoja į lieta suvirinimo tašką, sandara pateikta 1 pav. [3]. Vienu metu galima suvirinti du ar daugiau taškų.



1 pav. Taško sandara: I – centrinė zona, II – koncentrinis sluoksnis, III – koloniniai kristalai, IV – terminis sluoksnis, V – pagrindinis metalas

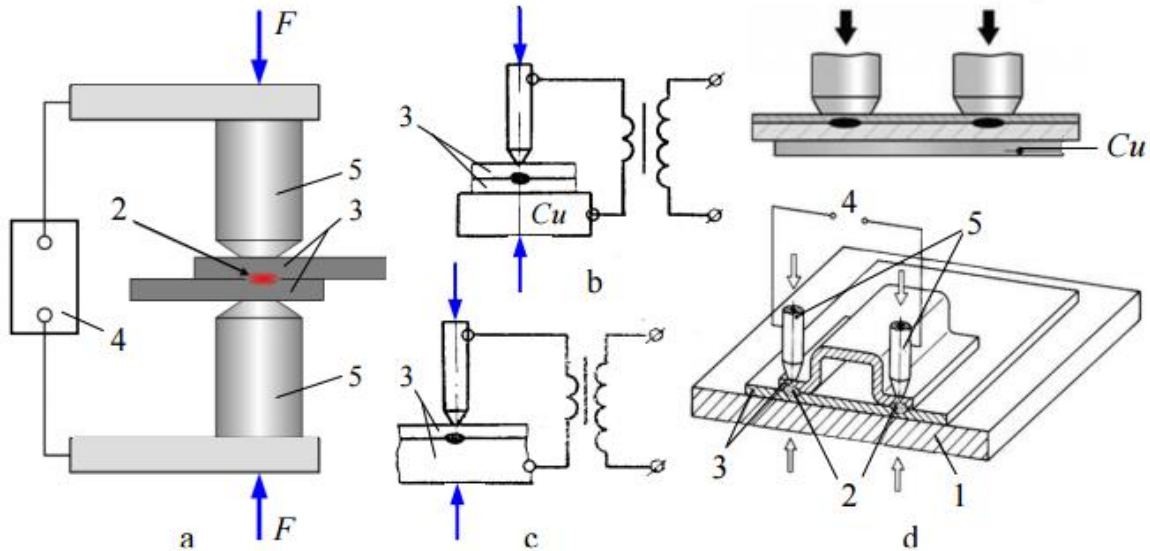
Kontaktinis suvirinimas labai plačiai naudojamas daugelyje transporto pramonės šakų, vamzdynams, įvairiems įrankiams, elektrotechnikos pramonės šakose, bei masinėje gamyboje [2].

Kontaktiniu būdu lengviausiai yra virinami šie metalai [1]: bendros paskirties statybiniai plienai, termiškai apdirbti plienai, nerūdijantys plienai, išskyrus turinčius daug anglies ir sieros, žalvaris, aliuminė bronzos, bei aliuminis, magnis, nikelis, varis ir jų lydiniai.

Šilumos kiekis suvirinimo zonoje priklauso nuo srovės stiprio, jos praleidimo trukmės, varžos detalių sąlyčio vietoje. Tarp elektrodo ir detalės išsiskiria mažiau šilumos negu tarp detalių, kadangi toje vietoje, kurioje susiliečia dvi detalės, yra daug didesnė kontaktinė varža, todėl dažniausiai yra naudojami elektrodai iš vario [2].

Kontaktinių būdu suvirinti sujungimai yra skirstomi pagal suvirintos jungties tipą: sandūrinis, aplydomasis, taškinis, reljefinis, siūlinis. Taip pat skirstomi pagal suvirinimo transformatoriaus maitinimą: kintamąją srovę, nuolatinę srovę [2].

Yra naudojami įvairaus taškinio suvirinimo būdai, kurie skiriasi elektros srovės tiekimo būdais, elektrodų skaičiumi, bei jų išdėstymu (žiūrėti 2 pav.) [2].



2 pav. Kontaktinio taškinio suvirinimo būdai: a – dvipusis taškinis suvirinimas; b, c, d – vienpusis taškinis suvirinimas:  $F$  – elektrodo spaudimo jėga; 1 – varinis antdėklo lakštas stipresnei srovei gauti; 2 – suvirinimo taškas; 3 – ruošiniai; 4 – maitinimo šaltinis; 5 – kontaktinio suvirinimo elektrodas

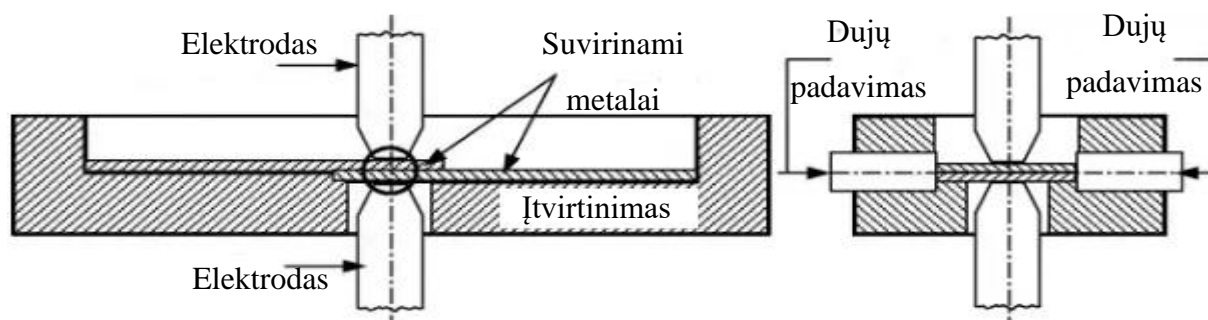
## 1.2 Mokslinių tyrimų apžvalga

Atliekant bandymus su 1 mm aliuminio lakštu Portugalijos mokslininkai [4] naudojo baigtinių elementų metodą, skaičiavimams naudojo simetrinį suvirinto sujungimo modelį. Mokslininkai nustatė, kad suvirinimo taško skersmuo turi įtakos suvirinto sujungimo stiprumui. Suvirinimo taško skersmeniui esant mažesniau, nei lakšto storis ir didinat skersmenį iki lakšto storio, atlaikoma apkrova padidėja apie 8 kartus. Kai suvirinimo taško skersmuo yra 3 kartus didesnis už suvirinamo sujungimo lakšto storį atlaikoma apkrova padidėja kelis kartus lyginant su atlaikoma apkrova, kai suvirinimo taško skersmuo yra mažesnis nei suvirinimo lakšto storis. Jei suvirinimo taško skersmuo yra didinamas toliau įtempiai mažėja labai nežymiai, kol galiausiai įtempiai nebekinta ir nuo suvirinimo taško skersmens nebepriklauso. Taipogi mokslininkai palygino kontaktinio taškinio suvirinimo atlaikomą skersinę apkrovą su kitų suvirintų sujungimų atlaikoma skersine apkrova ir nustatė, kad taškinio suvirinimo atlaikoma skersinė apkrova yra viena iš didžiausių.

Darbe [5] teigiama, kad silpniausia suvirinto sujungimo vieta yra ties suvirinimo tašku, taip pat teigiama, kad vykstant suvirinimo procesui pagrindinio metalo mikrostruktūra yra sunaikinama, dėl terminio suvirinimo proceso. Tempimo tyrimą, kai suvirinto sujungimo kraštai yra tempiami priešingomis kryptimis, atliko su nerūdijančiu plieniu ir nustatė, kad nerūdijančio plieno atsparumas priklauso nuo suvirinimo taško kietumo ir šilumos poveikio suvirinimo taško vietoje, bei suvirinamų ruošinių storio. Kuo suvirinamų ruošinių storis didesnis, tuo apkrovų dydis yra mažesnis, taipogi didėjant įvirinimo gyliui suvirintas sujungimas atlaiko didesnę apkrovą.

Moksliniame straipsnyje [6] teigia, kad suvirinto sujungimo silpniausia vieta yra suvirinimo taškas. Suvirinimo taškas silpniausia vieta yra dėl suvirinimo defektų, suvirinimo taško geometrijos netikslumų, tokių kaip spindulio deformacija ir liekamieji įtempiai, kurie paprastai yra tempimo metu kritinės zonos. Taipogi buvo atliekami tempimo bandymai, kai suvirinto sujungimo kraštai yra tempiami priešingomis kryptimis, bandymas buvo atliktas su skirtingo storio metalo lakštais. Iš gautų rezultatų Suomijos mokslininkai nustatė, kad ploni metalo lakštai yra jautresni apkrovos pokyčiams, nei storesni metalo lakštai. Straipsnyje pateiktame įtempimų intensyvumo grafike matyti, kad didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško kraštuose.

Mokslininkas iš Zonguldak Karaman universiteto [7] atliko bandymus kontaktiniu taškiniu būdu suvirindamas titano lakštus. Suvirinimas buvo atliktas su skirtingais suvirinimo parametrais ir skirtingose suvirinimo aplinkose, schematiška suvirinimo įranga skirta sudaryti įvairioms suvirinimo aplinkoms pateikta 3 pav. Suvirintiems sujungimams mokslininkas atliko tempimo bandymus, kad nustatytų suvirintos zonos stiprumą. Taip pat buvo atliktas kietumo tyrimas siekiant iširti suvirinimo parametrus apie suvirinto sujungimo suvirinimo tašką. Atlikus tyrimą, tyrėjas nustatė, kad didinant suvirinimo laiką ir didinant elektrodo spaudimo jėgą padidėja tempimo atlaikoma apkrova. Kietumo matavimo rezultatai parodė, kad suvirinimo taške ir šilumos paveiktoje zonoje susidarė kietesnis metalas lyginant su viso suvirinto sujungimo metalu. Argono dujų aplinkoje atliekant suvirinimą, atlaikoma tempimo apkrova yra didesnė lyginant su suvirintu sujungimu nesant išskirtinei aplinkai, tačiau argono dujų aplinka suvirinimo metu neturi jokios įtakos suvirinto sujungimo kietumui.



3 pav. Suvirinimo įranga skirta sudaryti įvairioms suvirinimo aplinkoms

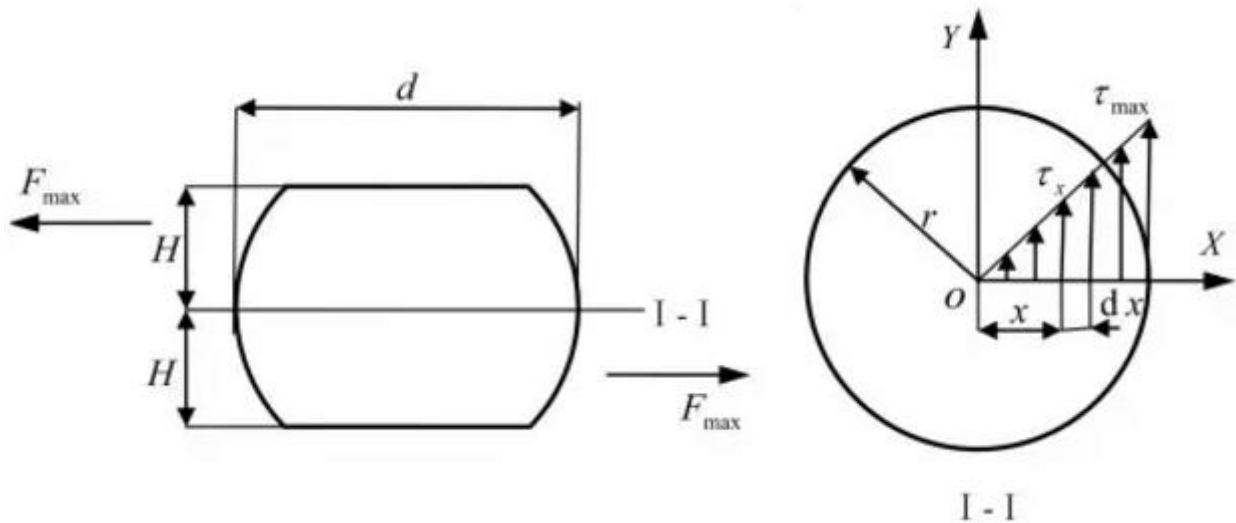
Atliekant kryžminio tempimo bandymus su cinkuotais ir nerūdijančio plieno lakštais moksliniame straipsnyje [8] medžiagos buvo sujungtos kontaktiniu taškiniu suvirinimu būdu. Medžiagų derinys ir suvirinimo taško skersmuo buvo pasirenkamas ir keičiamas atsitiktinai, kaip eksperimentinis parametras. Iš gautų rezultatų tyrėjai nustatė, kad cinkuoto plieno lakštų derinys turi aukščiausią atlaikomą skersinio apkrovimo ribą. Mažiausią skersine kryptimi atlaikomos apkrovos ribą turi cinkuoto lakšto ir nerūdijančio plieno lakštų derinys. Didžiausią skersine kryptimi atlaikomos apkrovos ribą turi tokios pat arba panašios cheminės sudėties plieno lakštai, priešingai nei skirtingų cheminių sudėčių plieno lakštai. Šio rezultato priežastys yra šilumos disbalansas tarp metalo lakštų, kuris atsiranda kontaktinio taškiniu suvirinimo metu, virinant skirtingą cheminę sudėtį ir skirtingą elektros varžą turinčius metalo lakštus. Dėl šilumos disbalanso, tarp lapų suvirinimo taškas negali susidaryti simetriškas. Susiformavęs asimetrinis suvirinimo taškas sumažina suvirinto sujungimo atsparumą nuovargiui.

Darbe [9] buvo atliekami bandymai su aliuminio lydiniu, šalto valcavimo plieno, bei nerūdijančio plieno lakštais. Bandymo metu buvo paruošti stačiakampio formos metalo lakštai, jie kontaktinio suvirinimo metu buvo suvirinami kryžmai. Po to atliekami kryžminio tempimo bandymai. Bandymo metu buvo tiriama suvirinimo taško stiprumo riba kryžminio tempimo metu, esant suvirintiems skirtingiems metalams. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad suvirinant skirtingus metalus, dėl skirtingų metalų cheminės sudėties įvirinimo gylis gali skirtis apie 3 kartus, taip pat suvirinant skirtingus metalus suvirinimo taškas susidaro netaisyklingos formos. Didžiausią apkrovą kryžminio tempimo metu atlaikė vienodos cheminės sudėties medžiagos, mažiausią apkrovą atlaikė skirtingų cheminių sudėčių medžiagų suvirintas sujungimas. Mažiausią apkrovą kryžminio tempimo metu atlaikė plieno ir aliuminio lakštų suvirintas sujungimas.

Jungtinės Karalystės mokslininkai atliko tyrimą su aliuminio lakštais. Tyrimo metu mokslininkai tyrė suvirinimo taško skersmenį, bei suvirinimo metu lakšto paviršiuje nuo elektrodo spaudimo atsirandančio įdubimo įtaką atlaikomam apkrovimui. Mokslininkai nustatė, kad virinant aliuminio lakštus suvirinimo taško skersmuo turi įtakos atlaikomiems apkrovimams. Esant mažam suvirinimo taško skersmeniui atlaikoma apkrova yra maža, didinant suvirinimo taško skersmenį atlaikomi apkrovimai didėja. Iš pateiktame moksliniame darbe gautų rezultatų yra matoma tiesioginė priklausomybė atlaikamai apkrovai nuo suvirinimo taško skersmens virinant aliuminį. Tyrimo metu taip pat mokslininkai nustatė, kad įdubimas, atsirandantis lakšto paviršiuje nuo elektrodo spaudimo, įtakos atlaikamai apkrovai neturi [10].

Darbe [11] aprašoma tangentinių įtempių pasiskirstymas suvirinimo taške. Įtempių pasiskirstymas suvirinimo taške pateiktas 4 pav. Kaip matyti iš pateikto paveikslėlio tangentinis įtempis  $\tau_{max}$  suvirinimo taške pasiskirsto netolygiai. Suvirinimo taško centre tangentinis įtempis  $\tau_{max}$  yra artimas nuliui, o einant į suvirinimo taško kraštą veikiančios apkrovos kryptimi įtempiai didėja tolygiai. Darbe teigiama, suvirinus plieno lakštus ir didinat suvirinimo taško skersmenį, atlaikomi

apkrovimai didėja, kai suvirinimo taško skersmuo yra mažesnis, nei suvirinto sujungimo ploniausio lakšto storis. Tačiau, kai suvirinimo taško skersmuo yra keletą kartų didesnis už suvirinamo sujungimo ploniausio lakšto storį atlaikoma apkrova kinta labai nežymiai.



4 pav. Įtempių pasiskirstymas suvirinimo taške [11]

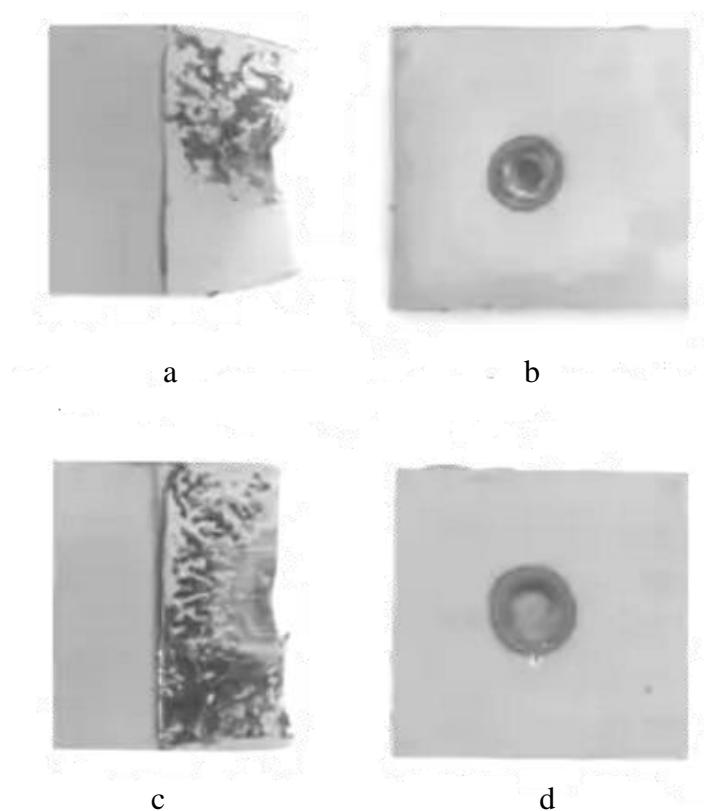
Kinijos mokslininkai savo moksliniame darbe [12] nagrinėjo įtempių intensyvumo pasiskirstymą kontaktiniame taškiniame suvirinime su vidiniu suvirinimo tašku. Skaičiavimai atlikti baigtinių elementų metodu. Buvo atliekami tempimo bandymai apkrovai veikiant į skirtingas puses. Apskaičiuoti normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  bei tangentintinis  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai. Kaip matyti iš darbe pateiktų grafikų didžiausi yra normaliniai  $\sigma_x$  ir  $\sigma_z$  įtempiai, kurie susidaro suvirinimo taško pakraštyje. Artėjant į suvirinimo taško centrą įtempiai mažėja, suvirinimo taško centre įtempiai susidaro mažiausi. Nuo suvirinimo taško centro įtempiai vėl pradeda didėti, kol suvirinimo taško pakraštyje pasiekia didžiausią reikšmę. Gauti didžiausi įtempiai yra apie 3-4 kartus didesni už likusius didžiausius įtempius.

Darbe [13] atlikti bandymai su 1,2 mm magnio lydinio lakštais, buvo tiriama suvirinimo taško skersmens priklausomybė nuo suvirinamos srovės stiprio. Buvo atliktas tempimo bandymas, kuriame buvo tiriama atlaikomos skersinės krypties apkrova didinant suvirinimo taško skersmenį. Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad suvirinimo metu srovės stiprį didinant nuo 15 kA iki 23 kA suvirinimo taško skersmuo padidėja nuo 4,2 mm iki 6,5 mm. Toliau didinant srovės stiprį suvirinimo taško skersmuo didėja labai nežymiai. Pagal darbe pateiktą grafiką matyti, kad kai suvirinimo taško skersmuo yra 3,5 – 4,5 karto didesnis už lakšto storį atlaikoma apkrova padidėja apie 1,1 karto. Tačiau, kai suvirinimo taško skersmuo yra 4,5 – 5,5 karto didesnis lakšto storį atlaikomi apkrovimai padidėja apie 2 kartus.

Straipsnyje [14] aprašomas tempimo bandymas suvirintų trijų metalo lakštų, kai vienas suvirinto sujungimo galas yra įtvirtintas standžiai, o tempiami kiti du suvirinto sujungimo kraštai į skirtingas puses. Tirtas suvirinto sujungimo suvirinimo taško nuovargis, kai apkrova yra ciklinė.

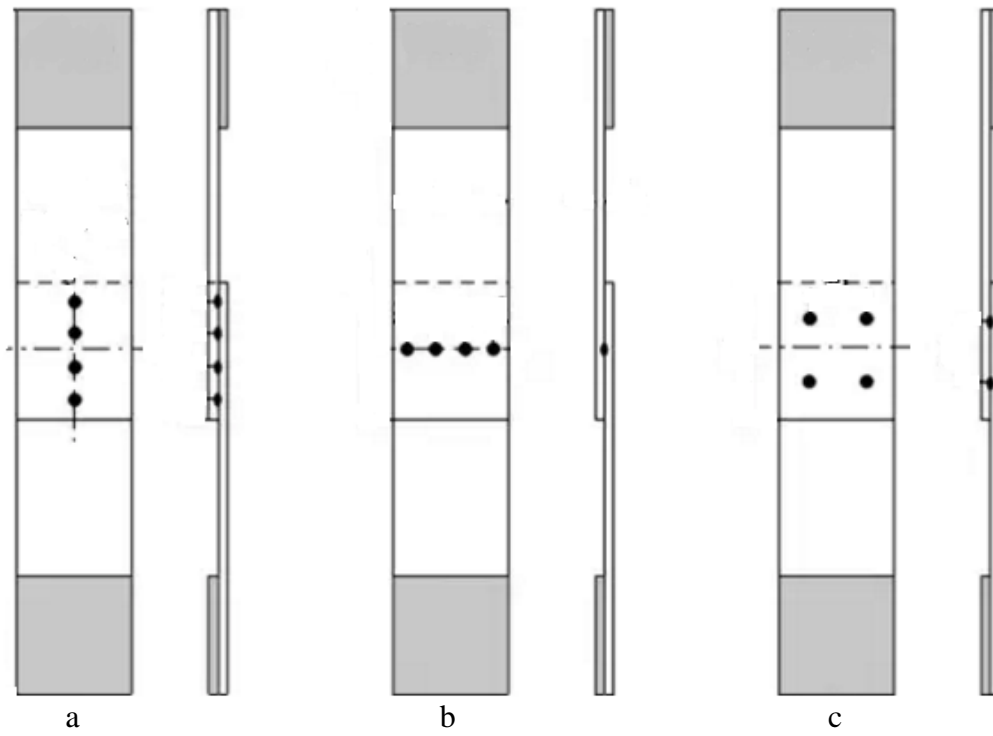


Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taške, ties apatiniu ir viršutiniu lakštu. Suvirinimo taške įtempiai mažiausi susidaro ties viduriniu lakštu. Kai apkrova didesnė, nei atlaikoma suvirinto sujungimo apkrova, nuo suvirinimo taško atitrūksta viršutinis ir apatinis plieno lakštas. [14] straipsnio autoriai tvirtina, kad suvirinimo metu suvirinimo taškas susidaro per visą vidurinį lakštą, o viršutiniame ir apatiniame plieno lakštuose suvirinimo taško susidaro ne per visą lakštą. Dėl įvirinimo gylio tempimo metu atsirandančio suvirinimo taško lenkimo didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško kraštuose. Apkrovai esant didesnei, nei atlaikoma suvirinto sujungimo apkrova, lakštai atplyšta nuo centrinio lakšto žiūrėti 5 pav.



5 pav. Plieno lakštai po ciklinio tempimo bandymo: a - viršutinis plieno lakštas atplyšęs nuo centrinio plieno lakšto, b ir d – centrinis lakštas su suvirinimo tašku, c – apatinis plieno lakštas atplyšęs nuo centrinio plieno lakšto

Darbe [15] tiriama atlaikomos apkrovos riba, kai sujungimas yra suvirinamas keturiais suvirinimo taškais ir yra keičiami suvirinimo taškų išdėstymo būdai (6 pav.). Tyrimo metu buvo nustatyta, kad visi suvirinimo taškų išdėstymo būdų atlaikoma apkrova skiriasi nežymiai. Tačiau didžiausią apkrovą atlaiko suvirinimo taškai išdėstyti skersai suvirinto sujungimo. Mažiausią apkrovą atlaiko suvirinimo taškai išdėstyti išilgai suvirinto sujungimo.



6 pav. Suvirinimo taškų išdėstymo būdai: a – suvirinimo taškai išdėstyti išilgai suvirinto sujungimo, b – suvirinimo taškai išdėstyti skersai suvirinto sujungimo, c – suvirinimo taškai mišriai išdėstyti suvirintame sujungime

## 2 ĮTEMPIŲ BŪVIO TYRIMAS

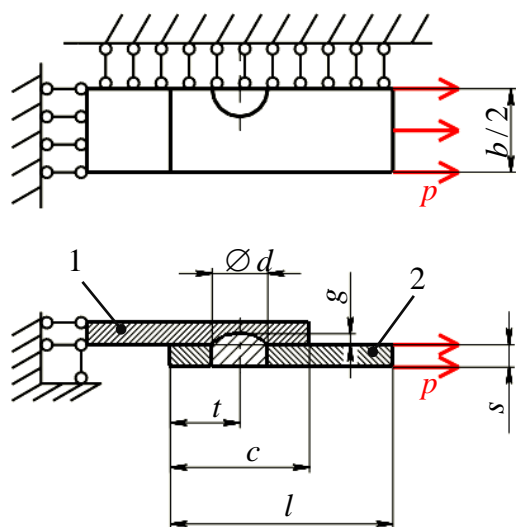
### 2.1 Tyrimų modelis

Tyrimai atlikti taikant baigtinių elementų metodą, naudojant *SolidWorks Simulation*.

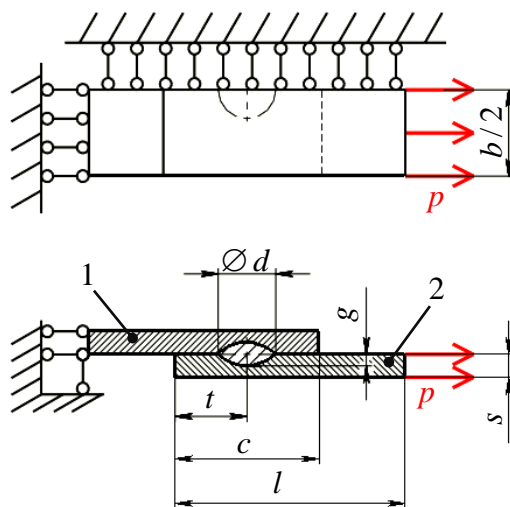
Suvirinto sujungimo skaičiavimo schema pateikta 7 pav. ir 8 pav. Pasirinktas simetrinis suvirinto sujungimo modelis. Buvo sprendžiamas tamprusis kontaktinis uždavinys. Kontaktas nurodytas tarp besiliečiančių suvirinamų lakštų paviršių. Laikyta, kad lakštų storiai  $s$  yra vienodi. Tyrimai atlikti, kai suvirinto sujungimo modelio baigtinių elementų tinklelio dydis lakštuose yra apie 1 mm, o suvirinimo taške – apie 0,4 mm. Lakšto bei suvirinimo taško medžiagų mechaniniai rodikliai pateikti 1 lentelėje. Suvirinimo taško skersmuo buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$d = \sqrt{25 s} ; \quad (2.1)$$

čia  $s$  – ploniausio lakšto storis, mm.



7 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku skaičiavimo schema



8 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku skaičiavimo schema

Suvirinto sujungimo skaičiavimo schemas parametrai:  $d = 10$  mm – suvirinimo taško skersmuo;  $g = 2$  mm – suvirinimo taško įvirinimo gylis;  $t = 12,5$  mm – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų ( $c = 2t = 25$  mm);  $b/2 = 15$  mm – pusė lakšto pločio;  $l = 40$  mm – lakštų ilgiai;  $s = 4$  mm – lakštų storiai;  $p$  – skersinė apkrova [16].

Atliekant skaičiavimus suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku laikyta, kad frontaliajoje modelio projekcijoje suvirinimo taško forma yra stačiakampis su užapvalintu dugnu

(7 pav. pavaizduota tik pusė suvirinimo taško), o modelio horizontalioje projekcijoje suvirinimo taško forma yra skritulio formos.

Atliekant skaičiavimus suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku laikyta, kad frontaliroje modelio projekcijoje suvirinimo taško forma yra skritulys (8 pav. pavaizduota tik pusė suvirinimo taško), o modelio horizontalioje projekcijoje suvirinimo taško skerspjūvio išgaubtosios dalys yra nupjautinio rutulio formos [16].

Sekančiuose skyriuose lakštų pavadinimus naudosime ( žr. 7 pav. ir 8 pav.) :

- lakštas standžiai įtvirtintas (1) – viršutinis lakštas;
- lakštas veikimas apkrovos (2) – apatinis lakštas;

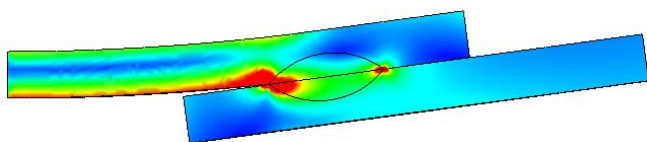
1 lentelė

Lakšto bei suvirinimo taško medžiagų mechaniniai rodikliai [16]

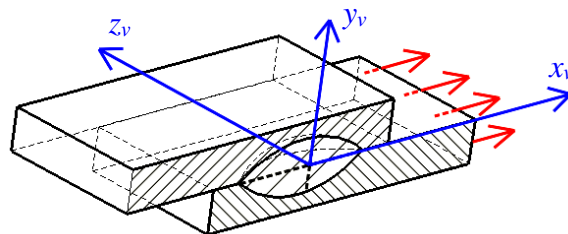
| Suvirinto sujungimo sudedamoji dalis | Tamprumo modulis $E$ , GPa | Puasono koeficientas $\nu$ | Takumo riba $\sigma_y$ , MPa |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Lakštas                              | 200                        | 0,29                       | 350                          |
| Suvirinimo taškas                    | 220                        | 0,28                       | 380                          |

## 2.2 Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

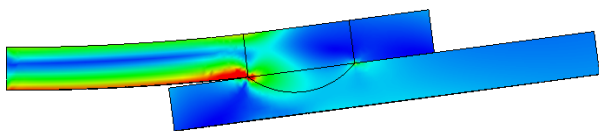
Kaip įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  pasiskirsto apkrautame taškiniame suvirintame sujungime pateikta 9 pav. ir 11 pav. Kaip matyti iš 9 pav. ir 11 pav., įtempiai nagrinėjamame suvirintame sujungime pasiskirsto netolygiai, todėl pradžioje nustatysime labiausiai apkrautas suvirinimo taško vietas [16].



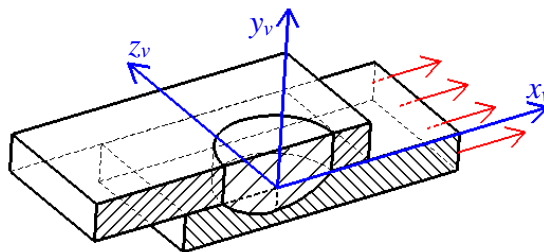
9 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas apkrautame suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



10 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku modelio koordinačių sistema



11 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas apkrautame suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku



12 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku modelio koordinačių sistema

Pagal 10 pav. ir 12 pav. pateiktas ašis toliau naudosime sekančius kryptių apibūdinimus [16]:

- išilgai  $x_v$  ašies – išilgai sujungimo, lakšto ar suvirinimo taško;
- išilgai  $y_v$  ašies – per sujungimo, lakšto ar suvirinimo taško aukštį;
- išilgai  $z_v$  ašies – skersai sujungimo, lakšto ar suvirinimo taško.

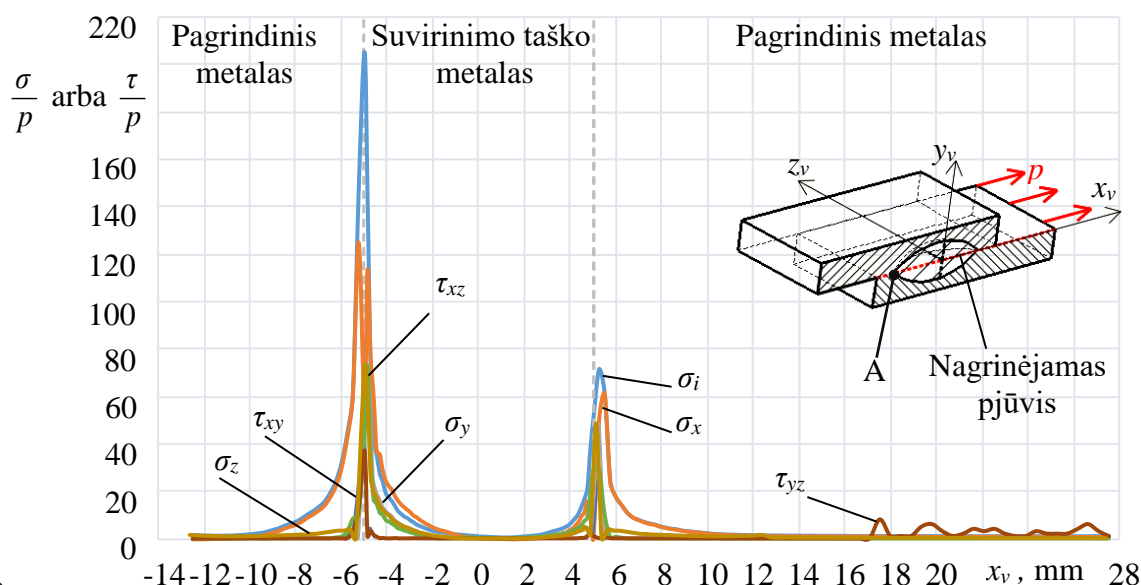
### 2.2.1 Labiausiai apkrautos vietos nustatymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų pateiktas 13 pav. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško A aplinka. Nagrinėjamo pjūvio pradžioje normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ , įtempiai yra artimi nuliui. Artėjant prie suvirinimo taško krašto įtempiai pradeda staigiai didėti ir suvirinimo taško pradžioje, taško A aplinkje, kyla didžiausi pjūvio įtempiai. Didžiausi yra  $\sigma_i$  ir  $\sigma_x$  įtempiai. Suvirinimo taško centre įtempiai yra artimi nuliui. Suvirinimo taško kraštuose įtempiai skiriasi apie 3 kartus. Taip gaunama dėl to, kad suvirinimo taško „pradžioje“, dėl atsirandančio lenkimo, lakštai plėšiami vienas nuo kito, o suvirinimo taško „pabaigoje“ – lakštai spaudžiami vienas prie kito (žr. 9 pav.) [16].

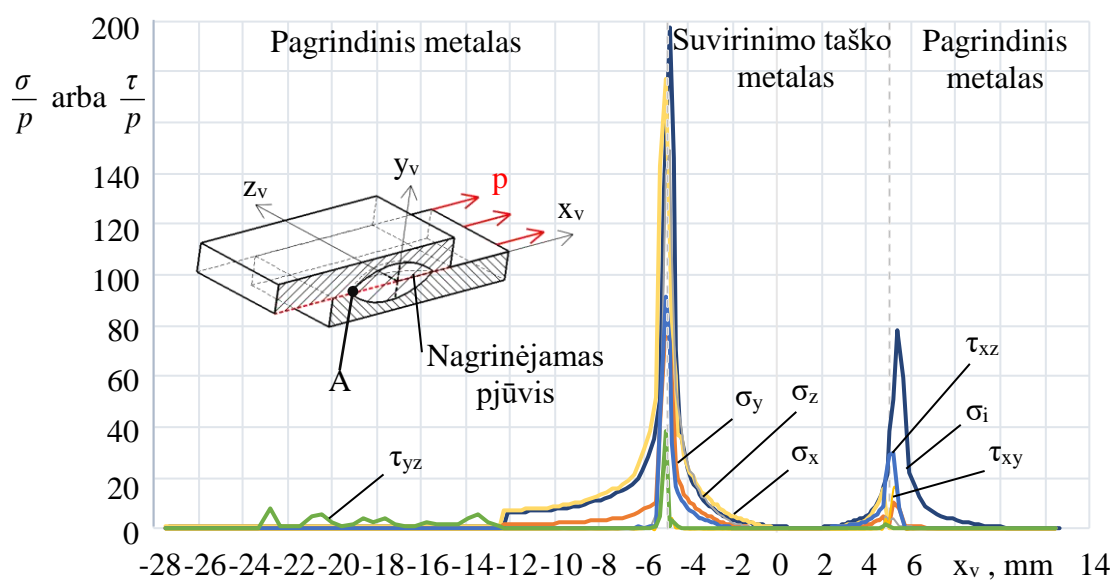
Kaip įtempių būvio dedamosios pasiskirstos išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią galime matyti 14 pav.. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas yra panašus 13 pav. įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymui. Didžiausi įtempiai taip pat kyla taško A aplinkoje. Didžiausi įtempiai suvirinimo taško pradžioje nežymiai mažesni susidaro suvirinto sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų lyginant su didžiausiais įtempiais susidaranciais suvirinto sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią. Suvirinimo taško kraštuose įtempiai skiriasi apie 2,5 karto.

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško viršutinį kontūrą matomas 15 pav.. Didžiausi įtempiai kyla nagrinėjamo pjūvio pradžioje ( tai yra taško A aplinka). Didžiausi

kyla normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_y$  ir  $\sigma_z$  įtempiai. Nuo suvirinimo taško krašto iki suvirinimo taško centro įtempiai staigiai mažėja ir suvirinimo taško centre normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$ , įtempis pasiekia mažiausią reikšmę nagrinėjamame pjūvyje.



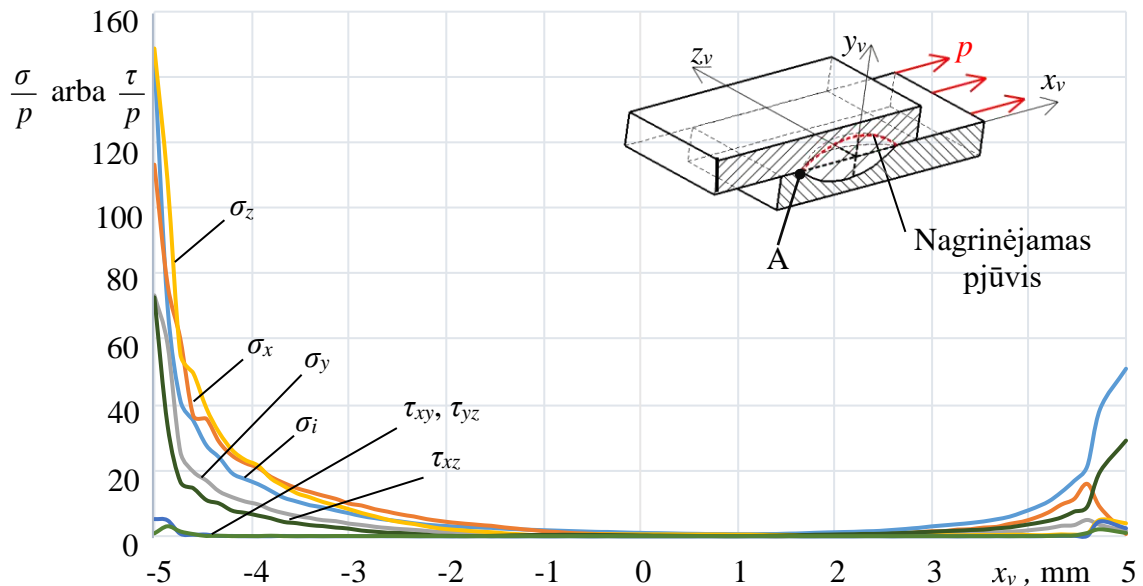
13 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



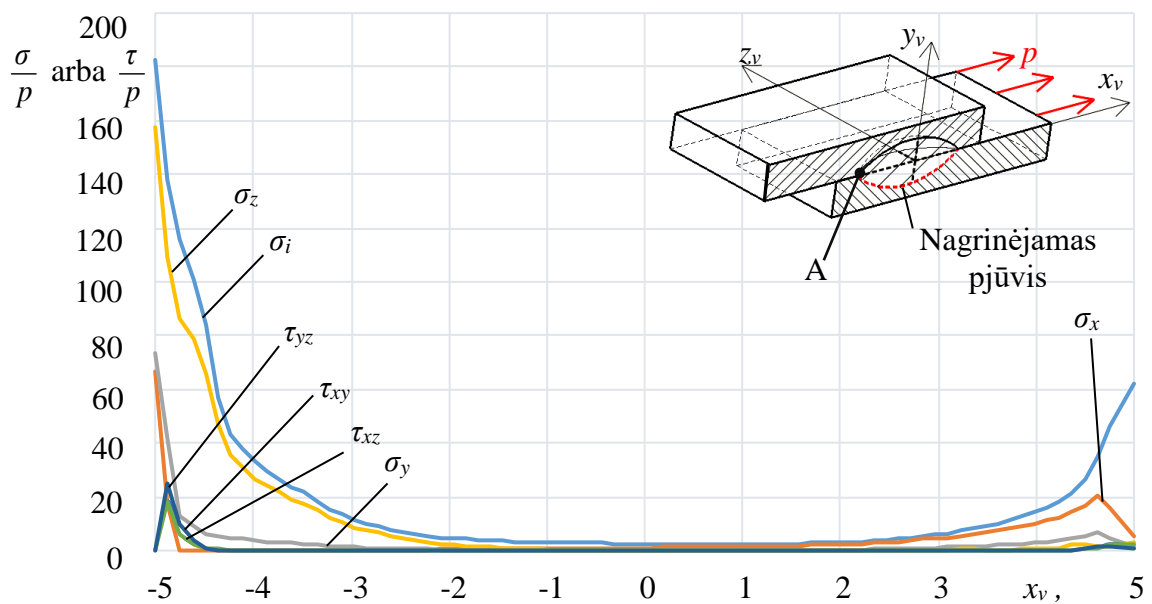
14 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Pereinant į kitą nagrinėjamo pjūvio pūšę kylantys centre normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$ , įtempis vėl pradeda didėti ir nagrinėjamo pjūvio pabaigoje susidaro apie 3 kartus mažesni įtempiai nei nagrinėjamo pjūvio pradžioje. Normalinis  $\sigma_x$  įtempis nagrinėjamo pjūvio

suvirinimo taško krašte kylęs įtempis įgija didžiausią reikšmę, tolsnat nuo suvirinimo taško krašto įtempis  $\sigma_x$  staigiai mažėja ir tampa artimas nuliui. Prieš suvirinimo taško pabaigą  $\sigma_x$  įtempis pradeda staigiai didėti, susidaro apie 6 kartus mažesnis nei nagrinėjamo pjūvio pradžioje. Suvirinimo taško pabaigoje  $\sigma_x$  įtempis susidaro apie 6 kartus mažesnis, nei nagrinėjamo pjūvio pradžioje prieš pat suvirinimo taško pabaigą vėl pradeda staigiai mažėti ir suvirinimo taško pabaigoje yra artimas nuliui. Tangentiniai  $\tau_{xy}$  ir  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjame pjūvyje yra artimi nuliui.

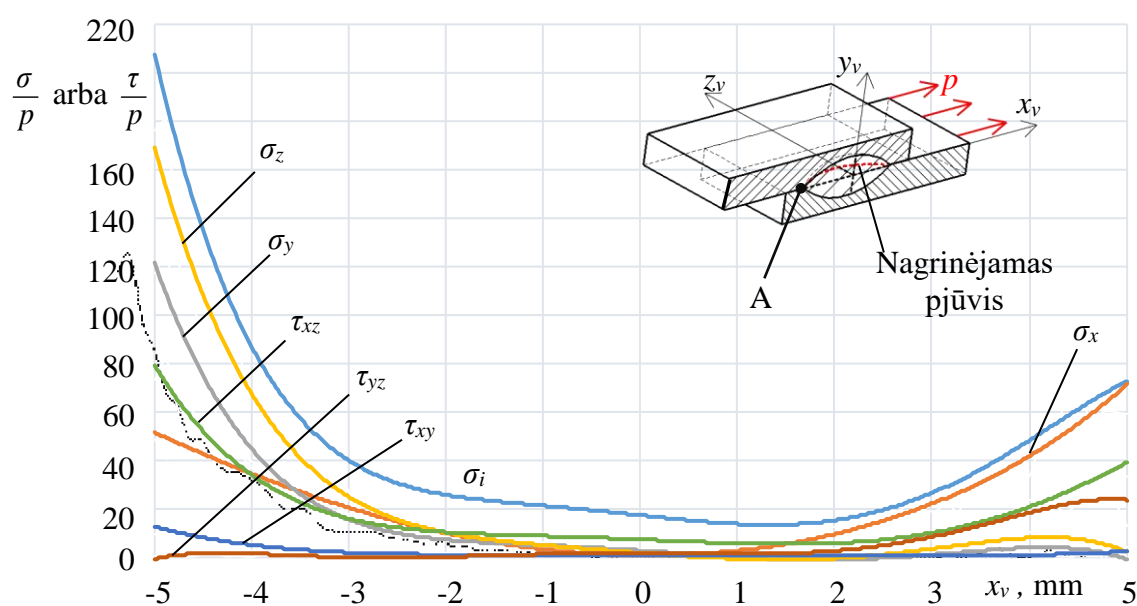


15 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško viršutinį kontūrą sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



16 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Nagrinėjant įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymą išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą (žr. 16 pav.) matyti, kad pavojingiausia vieta yra analogiška 15 pav. pavojingiausiai vietai, tai taško A aplinka. Taško A aplinkoje kyla didžiausi normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, kurie susidaro apie 2 kartus didesni už likusius nagrinėjamus įtempius. 16 pav. įtempis  $\sigma_i$  ir  $\sigma_x$  pasiskirsto analogiškai, kaip ir 15 pav.. Normalinis įtempis  $\sigma_x$  suvirinimo taško pabaigoje susidaręs apie 3 kartus mažesnis nei nagrinėjamo pjūvio pradžioje. Normaliniai  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai taško A aplinkoje pasiekia didžiausią reikšmę. Toliau nuo taško A aplinkos įtempiai staigiai mažėja ir tampa artimi nuliui. Toliau visame nagrinėjamame pjūvyje  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai yra artimi nuliui. Tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ , įtempiai nagrinėjamo pjūvio pradžioje staigiai pradeda didėti. Susidarę didžiausi tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai staigiai pradeda mažėti ir toliau visame nagrinėjamame pjūvyje yra artimi nuliui.



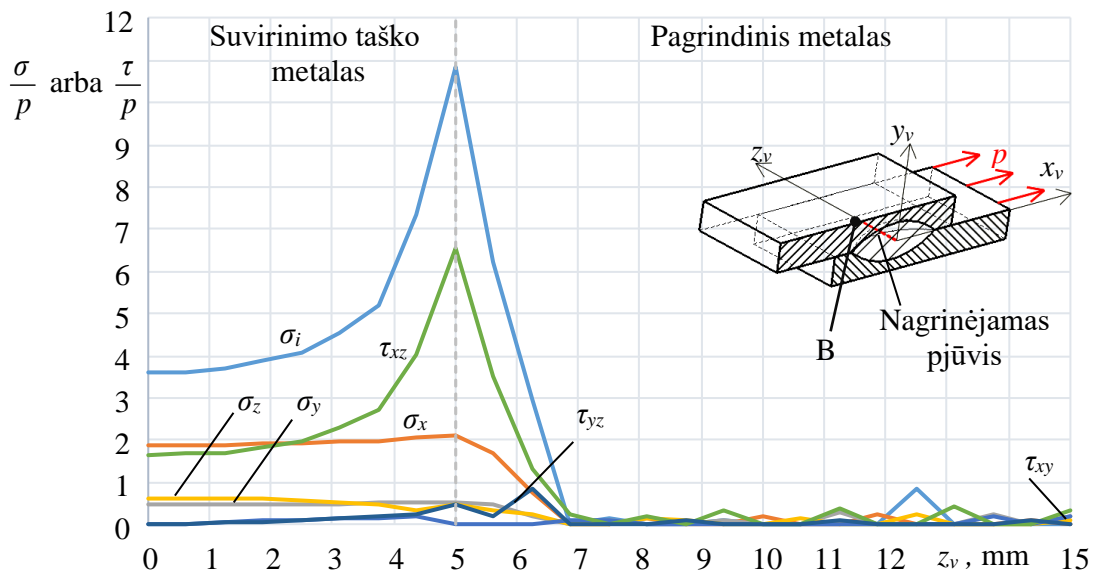
17 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje galime matyti 17 pav.. Didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško pradžioje (taško A aplinkoje) ir pabaigoje. Šiame pjūvyje visų įtempių  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  ir  $\tau_{xz}$  kitimo dėsnis yra artimas paraboliniam dėsnui. Kaip ir aukščiau nagrinėtuose pjūviuose pavojingoji vieta yra taško A aplinka. Čia įtempių  $\sigma_i$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  ir  $\tau_{xz}$  vertės yra daugiau nei 2,5 karto didesnės už atitinkamų įtempių vertes kitose pjūvio vietose. Tačiau didžiausias normalinis  $\sigma_x$  įtempis susidaro pjūvio pabaigoje. Čia  $\sigma_x$  vertė apie 1,5 karto didesnė už  $\sigma_x$  vertę pjūvio pradžioje. Tangentiniai  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjame pjūvyje yra artimi nuliui.

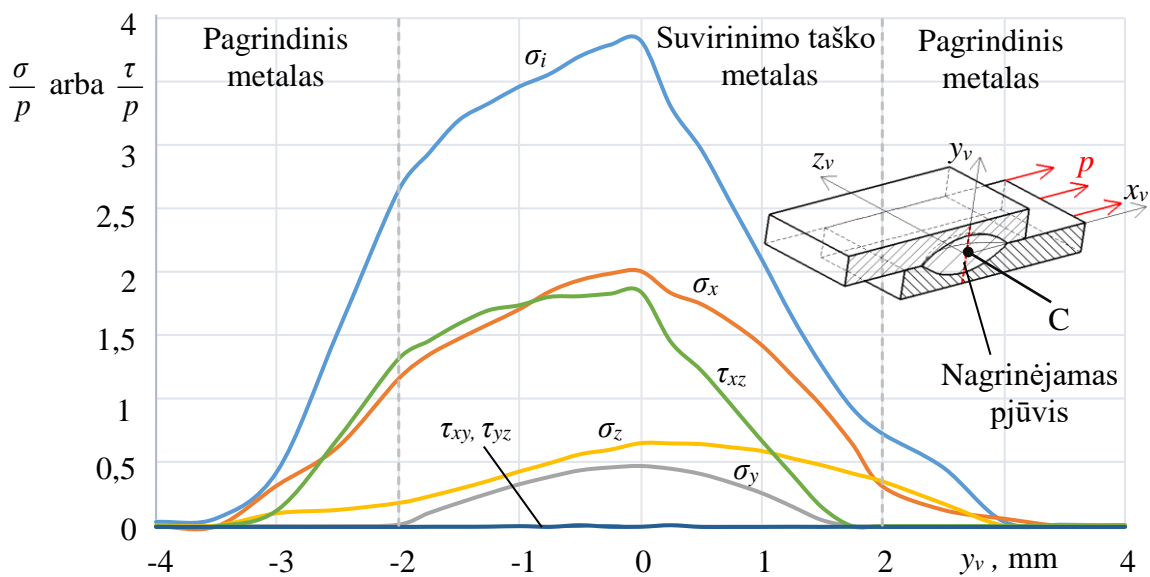
Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį pateiktas 18 pav. Iš 18 pav. matyti, kad pavojinga vieta pjūvyje skersai



sujungimo yra ties suvirinimo taško kraštu (tai taško B aplinka). Per pirmąją suvirinimo taško metalo nagrinėjamo pjūvio pusę normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis didėja nežymiai, tačiau antroje suvirinimo taško metalo nagrinėjamo pjūvio pusėje normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis padidėja kelis kartus. Per pirmąjį pagrindinio metalo nagrinėjamą penktadalį normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis staigiai mažėja. Tačiau likusiame pagrindinio metalo nagrinėjamoje dalyje normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis kinta labai nežymiai ir yra artimi nuliui. Tangentiniai įtempiai  $\tau_{xy}$  ir  $\tau_{yz}$  visame nagrinėjamame pjūvyje yra artimi nuliui.



18 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



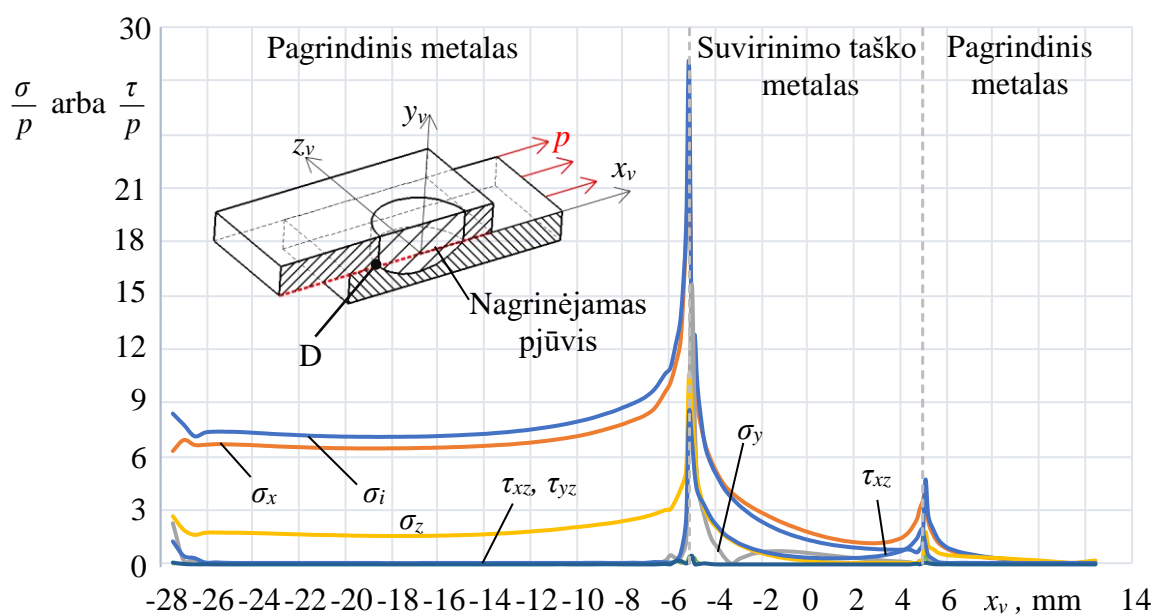
19 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame per suvirinimo taško simetrijos ašį sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame per suvirinimo taško simetrijos ašį pateiktas 19 pav.. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško C aplinka.. Pirmoje dalyje nagrinėjamo pagrindinio matalo pusėje įtempiai yra artimi nuliui normaliniai  $\sigma_i, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  įtempiai, bei tangentiniai  $\tau_{xz}, \tau_{xy}, \tau_{yz}$ , įtempiai. Tačiau antroje pagrindinio metalo pusėje normaliniai  $\sigma_i, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis pradeda didėti ir didėja iki suvirinimo taško centro. Nuo suvirinimo taško metalo centro įtempiai mažėja iki pagrindinio metalo antros dalies centro. Pagrindinio metalo antroje pusėje įtempiai kinta labai nežymiai ir yra artimi nuliui. Tangentiniai įtempiai  $\tau_{xy}$  ir  $\tau_{yz}$  kinta labai nežymiai ir visame nagrinėjamame pjūvyje yra artimi nuliui.

Iš pateiktos įtempių būvio analizės matyti, kad didžiausi įtempiai kontaktiniame taškiniame suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku susidaro A taško aplinkoje (13 pav.).

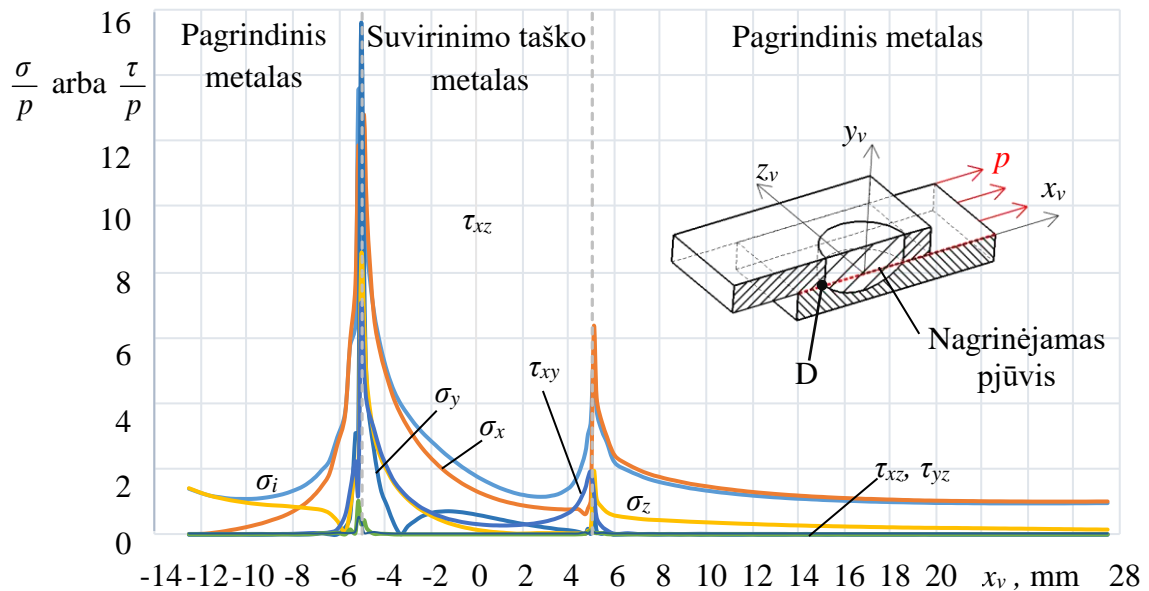
### 2.2.2 Labiausiai apkrautos vietos nustatymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią pateiktas 20 pav. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško D aplinka. Nagrinėjamo pjūvio pradžioje normalinis įtempis  $\sigma_y$ , bei tangentinis įtempis  $\tau_{xz}$  yra artimi nuliui. Artėjant prie suvirinimo taško krašto įtempiai pradeda staigiai didėti ir suvirinimo taško pradžioje (taško D aplinkoje) įtempiai  $\sigma_i, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  ir  $\tau_{xz}$  įgyja didžiausias vertes. Skaitine verte didžiausi yra  $\sigma_i$  ir  $\sigma_x$  įtempiai.

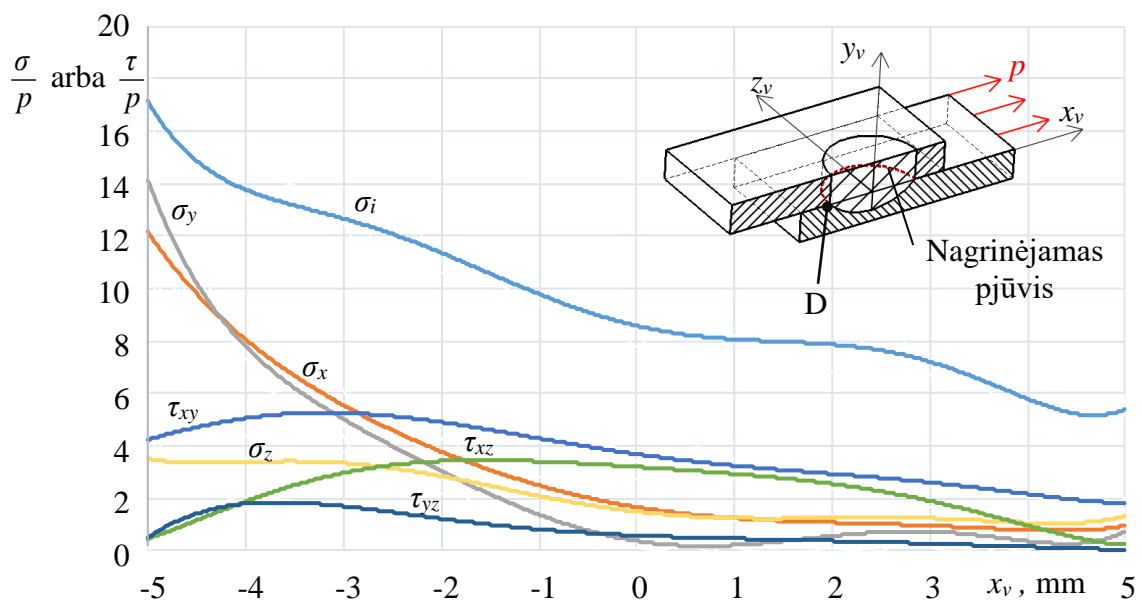


20 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per viršutinio lakšto apačią sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Tangentiniai įtempiai  $\tau_{xy}$  ir  $\tau_{yz}$  visame suvirintame sujungime yra artimi nuliui. Suvirinimo taško centre  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  ir  $\tau_{xz}$  įtempiai yra apie 10 kartų mažesni, lyginant su taško pradžioje susidariusiais įtempiais. Suvirinimo taško kraštuose  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , ir  $\tau_{xz}$  įtempiai skiriasi apie 5 kartus. Taip gaunama dėl to, kad suvirinimo taško „pradžioje“, dėl atsirandančio lenkimo, lakštai plėšiami vienas nuo kito, o suvirinimo taško „pabaigoje“ – lakštai spaudžiami vienas prie kito (žr. 11 pav.).



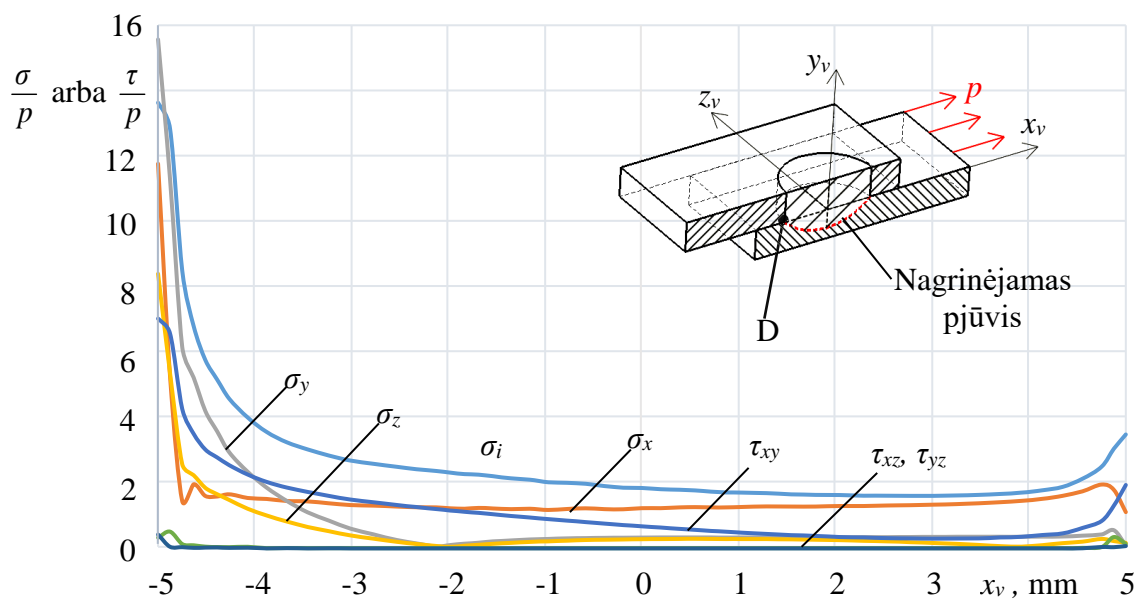
21 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų sujungime su išoriniu suvirinimo tašku



22 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Kaip įtempių būvio dedamosios pasiskirsto išilginiame sujungimo pjūvyje, einančiame per apatinio lakšto viršų galime matyti 21 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas panašus į įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymą, pateiktą 20 pav. Didžiausi įtempiai taip pat kyla taško D aplinkoje. Čia įtempių vertės yra apie 2,5 karto didesnės nei priešingoje suvirintojo taško pusėje.

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą nedeformuotų lakštų lietimosi plokštumoje matomas 22 pav. Didžiausi normaliniai įtempiai susidaro suvirinimo taško pradžioje, t. y. taško D aplinkoje. Tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai didžiausias vertes įgyja nuo taško D nutolus maždaug apie 1/5 kontūro ilgio. Didžiausios tangentinų įtempių vertės yra apie 2,5 karto mažesnės už didžiausias normalinių įtempių vertes.



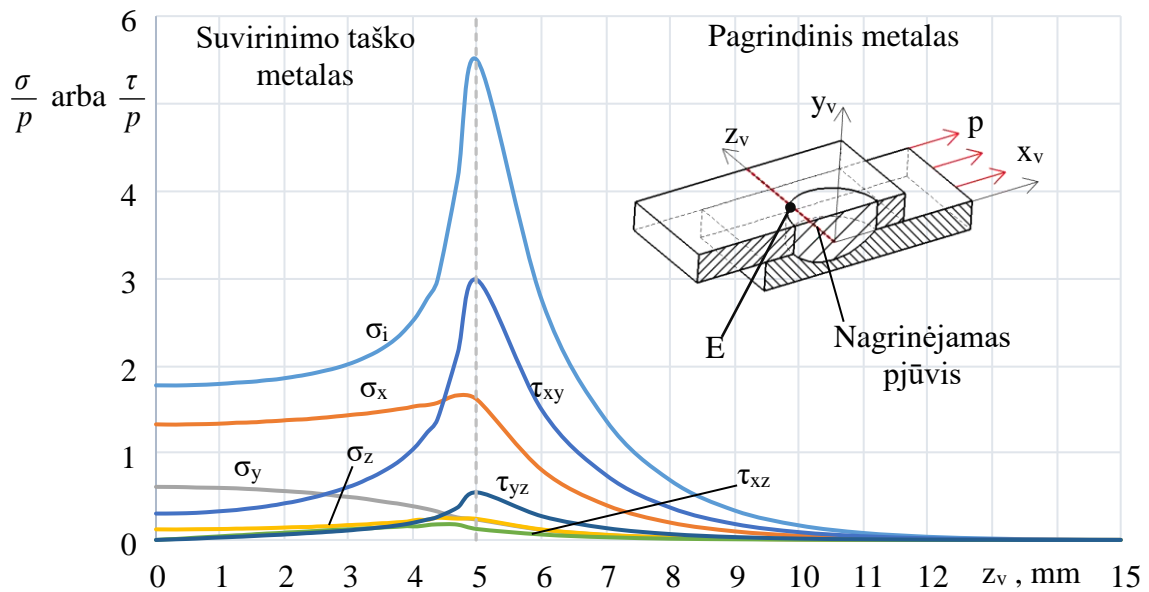
23 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Kaip išilgai suvirinimo taško apatinį kontūrą pasiskirsto įtempių būvio dedamosios pateikta 23 pav. Didžiasi įtempiai kyla nagrinėjamo pjūvio pradžios (t. y. taško D) ir pabaigos aplinkose. Įtempių verčių skirtumas pjūvio pradžioje (čia vertės gaunamos didesnės) pabaigoje yra apie 5 kartus.

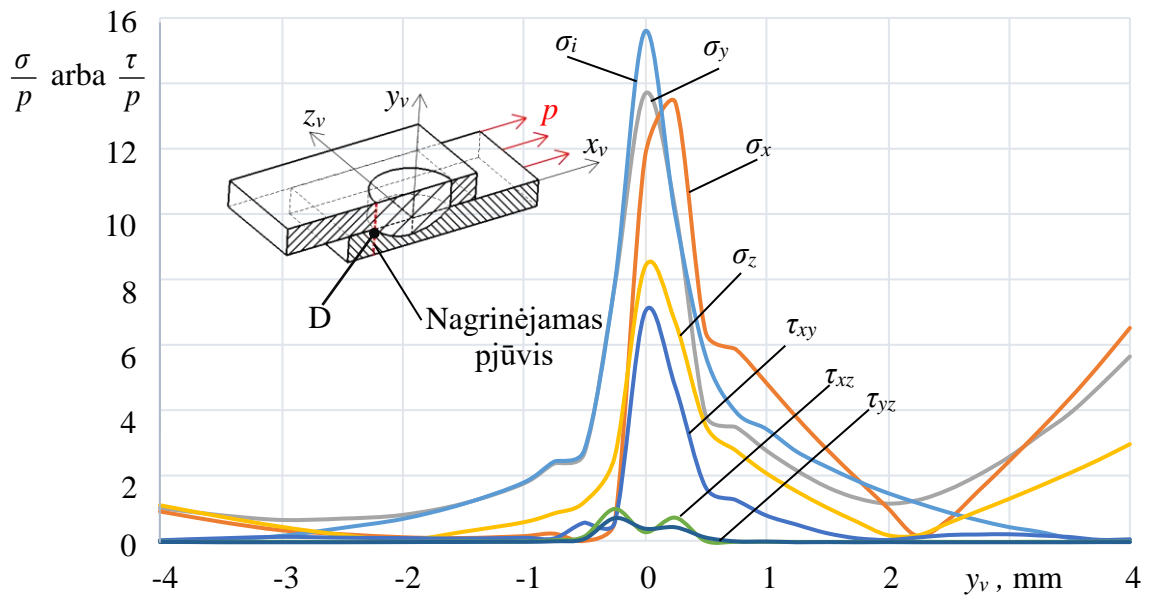
Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį pateikta 24 pav. Šio pjūvio pavojingoji vieta yra ties lakšto ir suvirinimo taško medžiagų sandūra, tai taško E aplinka. Čia normalinių įtempių vertės yra apie 3 kartus didesnės už tangentinų įtempių vertes. Tangentiniai įtempiai  $\tau_{xz}$  ir  $\tau_{yz}$  visame nagrinėjamame pjūvyje yra artimi nuliui.

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pradžioje pateikta 25 pav. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško D

aplinka. Per apatinio lakšto aukštį normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xy}$  įtempis kinta labai nežymiai, tačiau prieš pat apatinio lakšto viršutinę dalį normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xy}$  įtempis pradeda staigiai didėti.



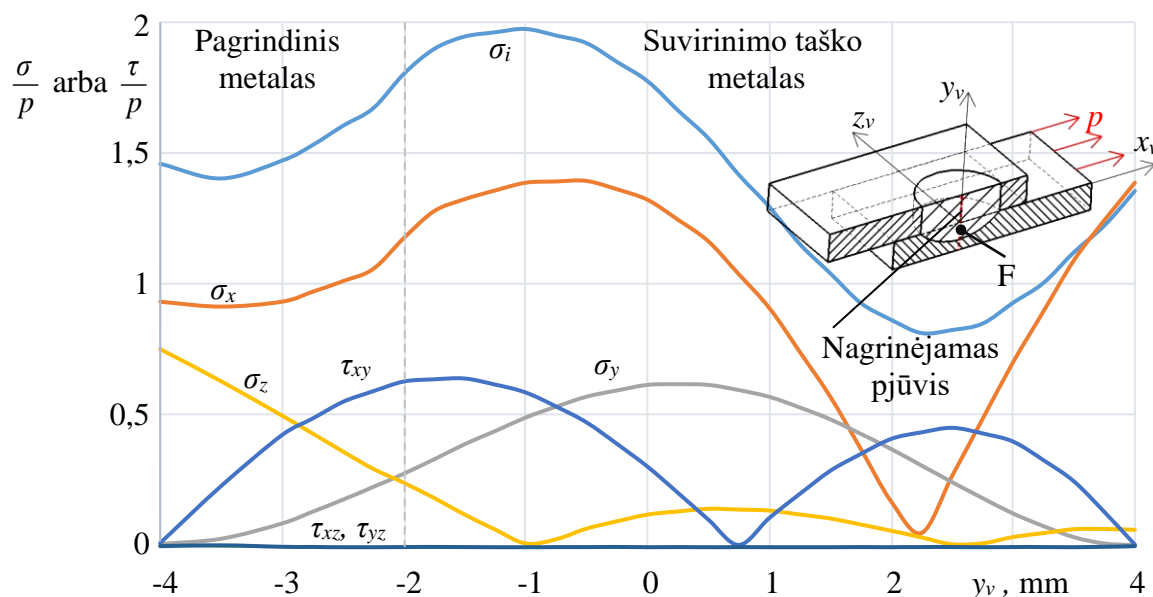
24 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame skersai sujungimo per suvirinimo taško vidurį sujungime su išoriniu suvirinimo tašku



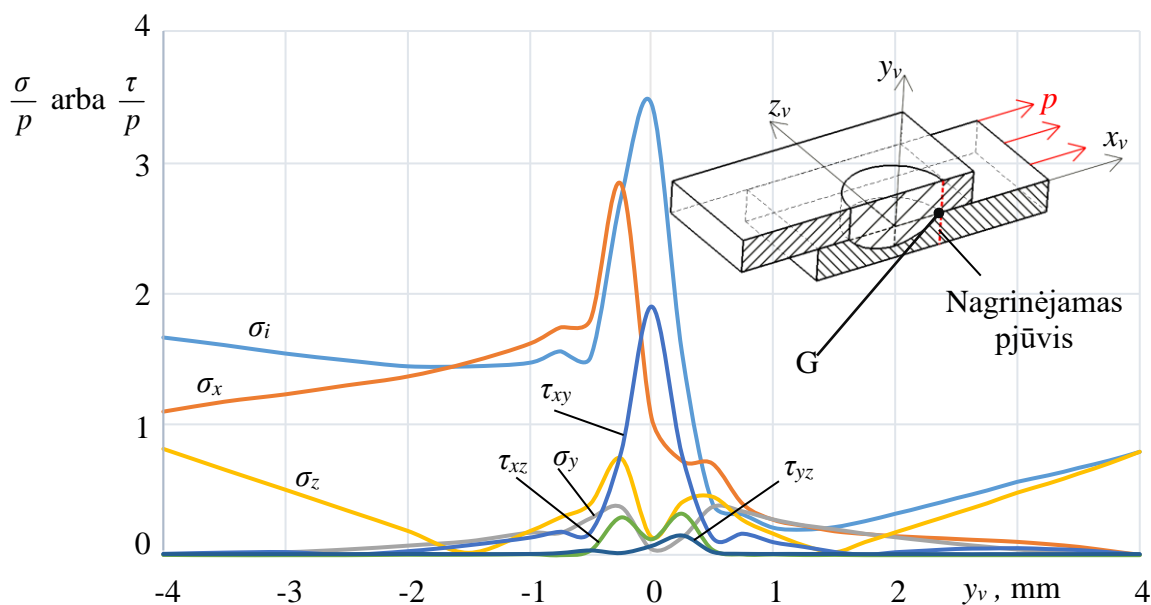
25 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pradžioje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Viršutinio lakšto apatinėje dalyje normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis pradeda staigiai mažėti. Įtempiai mažėja iki viršutinio lakšto vidurio. Nuo viršutinio lakšto vidurio iki viršutinio lakšto viršaus įtempiai vėl didėja. Viršutinio lakšto viršutinėje dalyje įtempiai susidaro

apie 2,5 karto mažesni lyginant su susidariusiais įtempiais viršutinio lakšto apatinėje dalyje. Tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjamame pjūvyje, lyginant su kitais įtempiais, kinta nežymiai ir yra artimi nuliui.



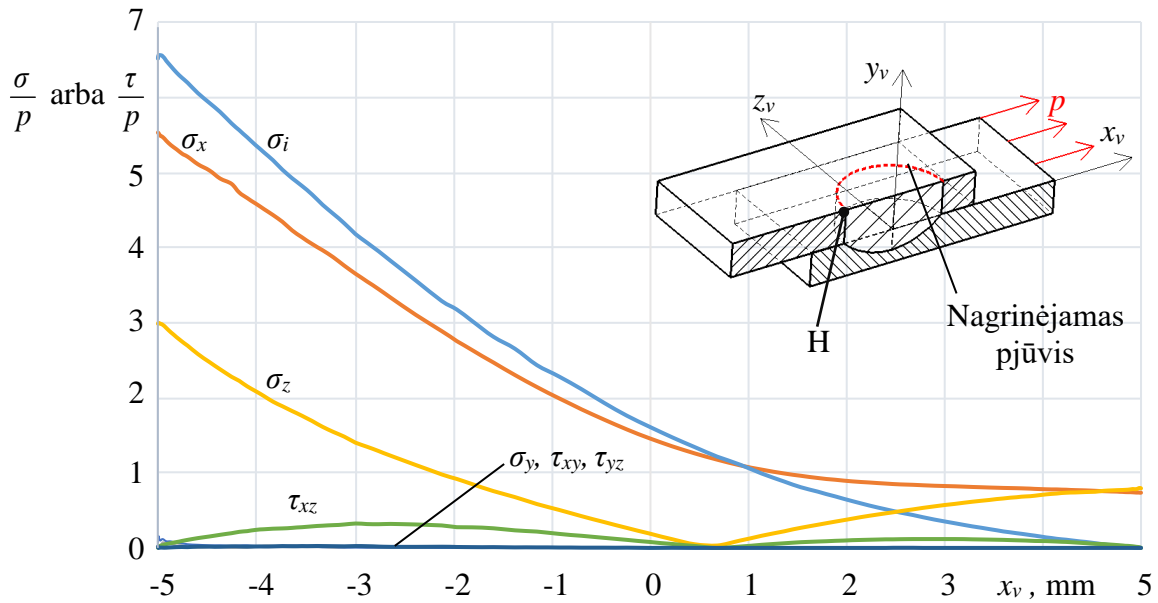
26 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas pjūvyje, einančiame per suvirinimo taško simetrijos ašį sujungime su išoriniu suvirinimo tašku



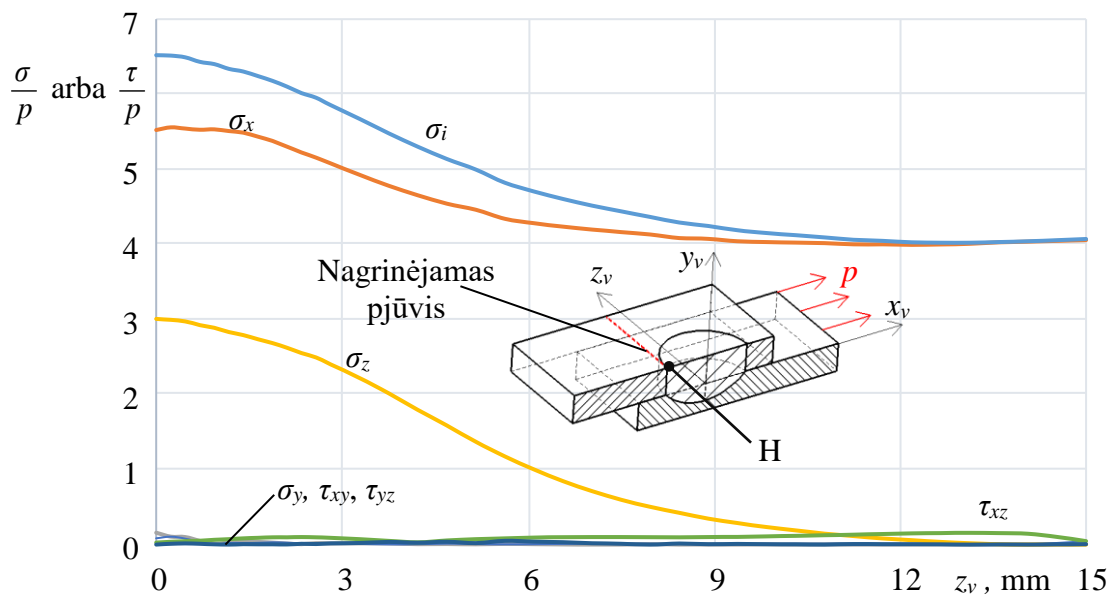
27 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pabaigoje sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Kaip išilgai suvirinimo taško simetrijos ašies kinta įtempių būvio dedamosios pateikta 26 pav.. Labiausiai apkrauta pjūvio vieta yra suvirinimo taške šiek tiek aukščiau pagrindinio ir

suvirinto taško medžiagų susilydimo paviršiaus (taško F aplinka). Tangentiniai  $\tau_{xz}$  ir  $\tau_{yz}$  įtempiai kinta nežymiai ir yra artimi nuliui.



28 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą skersai suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku

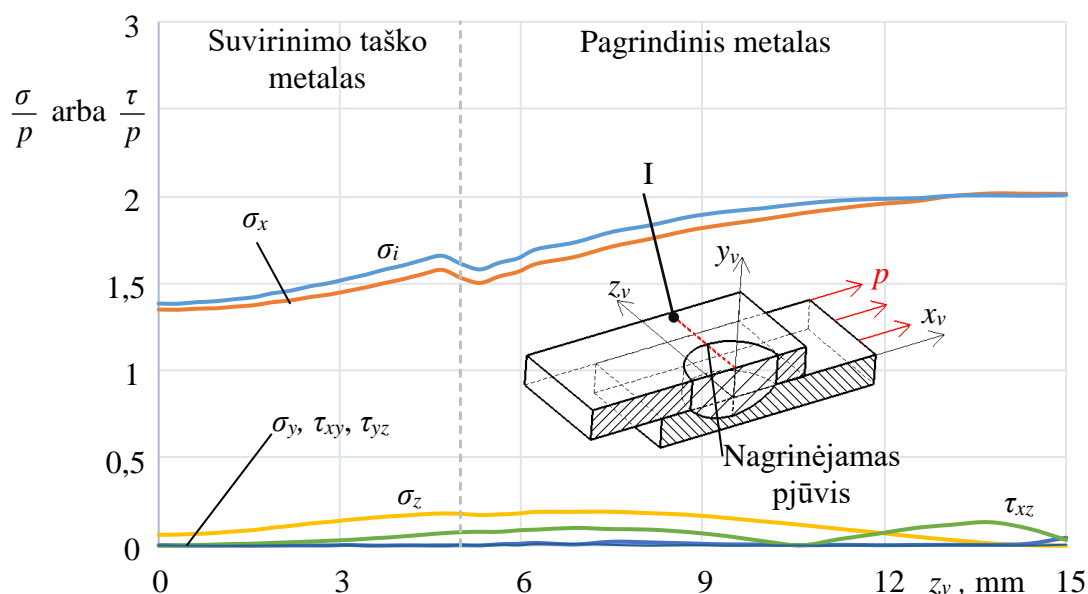


29 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško kraštą viršutiniame lakšte sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

27 pav. pateikta kaip įtempių būvio dedamosios pasiskirsto per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pabaigoje. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas panašus į įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymą, pateiktą 25 pav. Didžiausi įtempiai apie 4 kartus mažesni susidaro suvirinto

sujungimo, pjūvyje per suvirinto sujungimo aukštį suvirinimo taško pabaigoje lyginant su 25 pav. susidarančiais didžiausiais įtempiais. Kaip matyti iš 27 pav. didžiausi įtempiai susidaro suvirinto sujungimo taške ties lakštų sankirta, tai taško G aplinka.

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas aplink suvirinimo taško kontūrą skersai suvirinto sujungimo pateiktas 28 pav.. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško H aplinka. Taško H aplinkoje kyla didžiausi normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempiai, kurie susidaro apie 2 kartus didesni už likusius nagrinėjamus įtempius. Tolstant nuo taško H aplinkos įtempiai mažėja. Nagrinėjamo pjūvio pabaigoje normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempiai kyla mažiausiai ir tampa pastovūs. Normalinis  $\sigma_z$  įtempis nuo suvirinimo taško pradžios mažėja iki suvirinimo taško vidurio. Tačiau nuo suvirinimo taško vidurio normalinis  $\sigma_z$  įtempis iki suvirinimo taško galo didėja ir suvirinimo taško gale įtempiai susidaro apie 3 kartus mažesni nei suvirinimo taško pradžioje. Normalinis  $\sigma_y$  įtempis, bei tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai per visą nagrinėjamą pjūvį kinta nežymiai ir yra artimas nuliui.



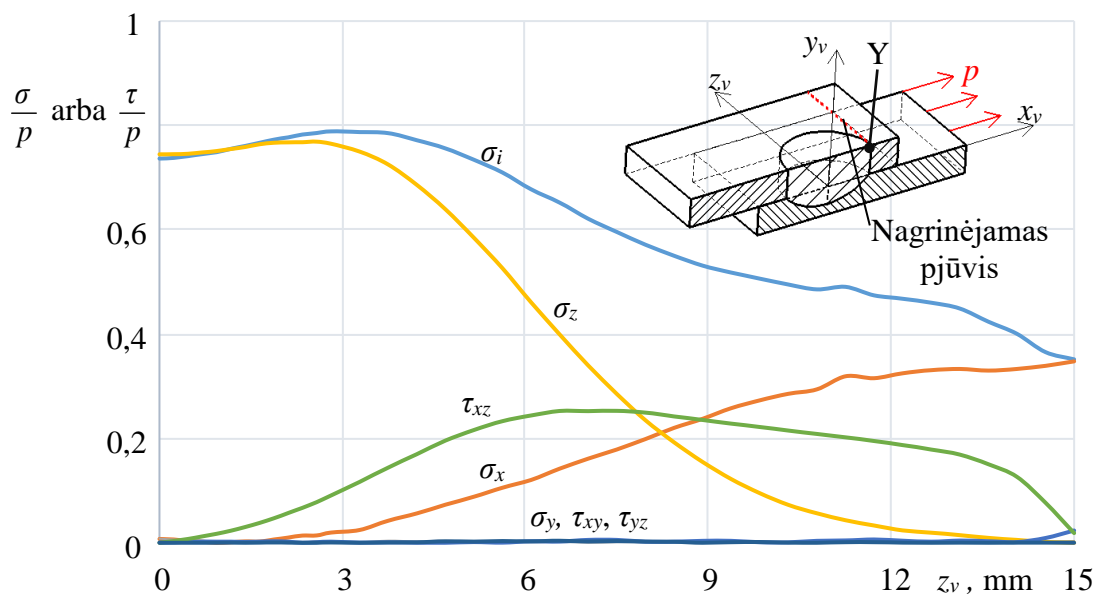
30 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško centrą ir viršutinį lakštą sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško kraštą viršutiniame lakšte matomas 29 pav.. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško H aplinka. Taško H aplinkoje kyla didžiausi normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempiai. Normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  įtempiai tolstant nuo taško H aplinkos mažėja. Įtempiai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  mažėja apie tris penktadalius nagrinėjamo pjūvio. Tolstant toliau įtempiai tampa pastovūs. Normalinis  $\sigma_y$  įtempis ir tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjame pjūvyje yra artimi nuliui.

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško centrą ir viršutinį lakštą galime matyti 30 pav.. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško I aplinka. Suvirinimo taško metale normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempiai didėja. Pereinant iš suvirinimo taško metalo į



pagrindinį metalą normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempiai pradeda mažėti. Nagrinėjame pjūvyje nagrinėjant  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  įtempius pagrindiniame metale matyti, kad įtempiai didėja iki beveik nagrinėjamo pjūvio pabaigos. Tik prieš nagrinėjamo pjūvio pabaigą  $\sigma_i$ ,  $\sigma_x$  tampa pastovūs. Normaliniai  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  įtempiai, bei tangentiniai  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjame pjūvyje kinta nežymiai ir yra artimi nuliui.



31 pav. Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško galinį kraštą viršutiniame lakšte sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

Įtempių būvio dedamųjų pasiskirstymas per suvirinimo taško galinį kraštą viršutiniame lakšte matomas 31 pav. Šiame pjūvyje pavojingoji vieta (joje kyla didžiausi įtempiai) yra taško Y aplinka. Taško Y aplinkoje kyla didžiausi normaliniai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$  įtempiai. Nagrinėjamo pjūvio pradžioje normaliniai įtempiai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$  didėja. Tolstant nuo nagrinėjamo pjūvio pradžios įtempiai  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$  pradeda mažėti. Nagrinėjamo pjūvio pabaigoje kyla mažiausi  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$  įtempiai. Normalinis  $\sigma_z$  staigiau mažėja lyginant su  $\sigma_i$  įtempiais. Nagrinėjamo pjūvio pabaigoje  $\sigma_z$  yra artimas nuliui. Normalinis  $\sigma_z$  įtempis nagrinėjamo pjūvio pradžioje yra artimas nuliui. Tolstant nuo nagrinėjamo pjūvio pabaigos  $\sigma_z$  įtempis tolygiai didėja ir suvirinimo taško pabaigoje  $\sigma_z$  įtempis kyla didžiausias. Tangentinis  $\tau_{xz}$  įtempis nuo nagrinėjamo pjūvio pradžioje yra artimas nuliui, tolsnant nuo nagrinėjamo pjūvio pradžios įtempis  $\tau_{xz}$  didėja. Nuo nagrinėjamo pjūvio centro iki nagrinėjamo pjūvio pabaigos  $\tau_{xz}$  įtempis mažėja nežymiai. Nagrinėjamo pjūvio pabaigoje  $\tau_{xz}$  įtempis pradeda mažėti staigiai ir nagrinėjamo pjūvio pabaigoje yra artimas nuliui. Normalinis  $\sigma_y$  įtempis, bei tangentiniai  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  įtempiai visame nagrinėjamame pjūvyje kinta nežymiai arba yra artimas nuliui.

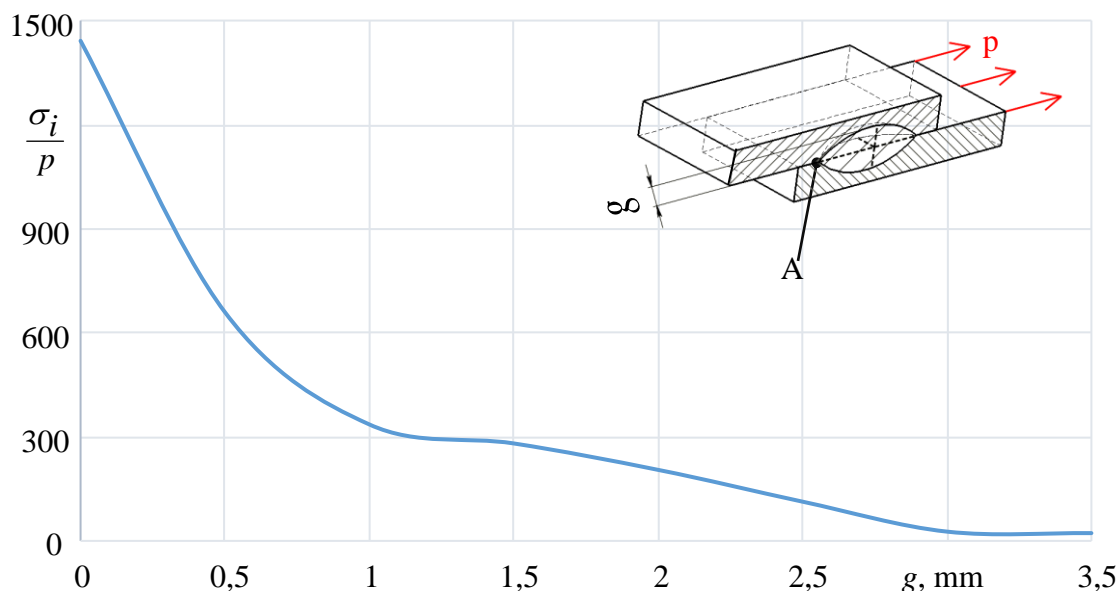
Iš pateiktos įtempių būvio analizės matyti, kad nepriklausomai nuo suvirinto taško tipo, didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško pradžioje kur dėl atsirandančio lenkimo, lakštai plėšiami vienas nuo kito (žr. 9 pav. ir 11 pav.). Sujungime su vidiniu suvirinimo tašku didžiausi įtempiai yra

apie 7,5 karto didesni už didžiausius įtempius kylančius sujungime su vidiniu suvirinimo tašku (žr. 13 ir 20 pav.).

### 2.2.3 Įtempių priklausomybė nuo įvirinimo gylio

Suvirinto sujungimo skaičiavimo geometriniai parametrai, kai kinta įvirinimo gylis  $g = 0 \dots 3,5$  mm:  $d = 10$  mm – suvirinimo taško skersmuo;  $t = 12,5$  mm – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų ( $c = 2t = 25$  mm);  $b/2 = 15$  mm – pusė lakšto pločio;  $l = 40$  mm – lakštų ilgiai;  $s = 4$  mm – lakštų storiai (žr. 7 pav ir 8 pav.).

2.2.3 poskyryje buvo nagrinėjama įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo įvirinimo gylio. Tyrimo metu įvirinimo gylis suvirintame sujungime buvo keičiamas nuo minimalaus įvirinimo gylio (įvirinimo gylis artimas nuliui) iki maksimalaus įvirinimo gylio (per visą lakšto storį).

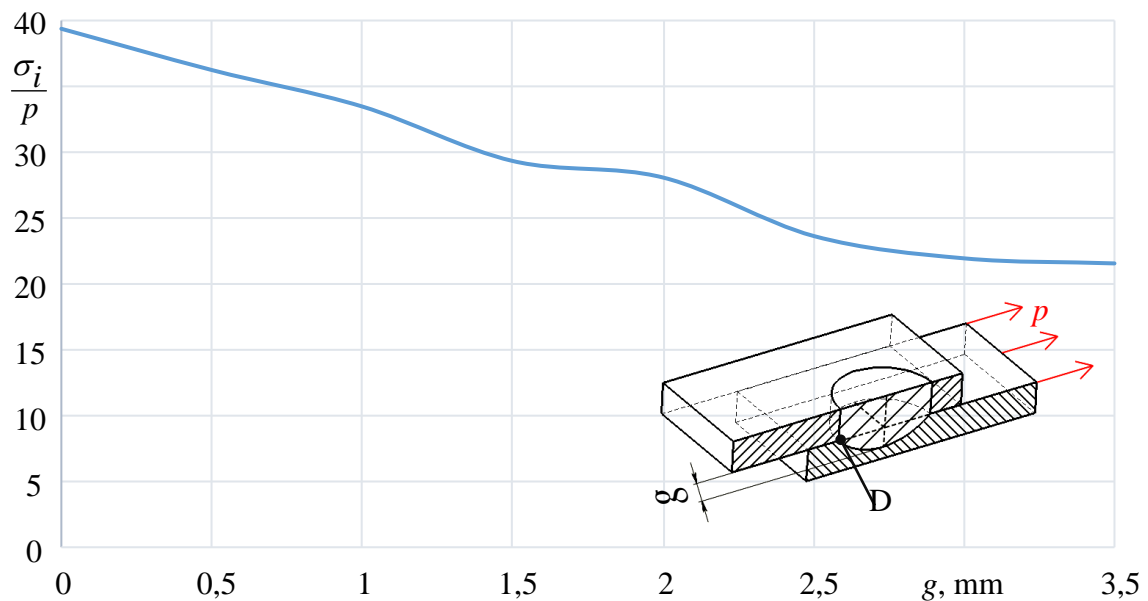


32 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške A priklausomybė nuo įvirinimo gylio  $g$  suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku

Kai įvirinimo gylis  $g$  nedidelis (sudaro ne daugiau kaip  $1/4$  lakšto storio, t.y.  $g \leq s/4$ ), tai įtempių intensyvumas  $\sigma_i$ , labiausiai apkrautoje suvirintojo sujungimo vietoje, didėjant  $g$  staigiai mažėja: gyliui padidėjus apie 10 kartų, įtempiai sumažėja apie 5 katus (žr. 32pav.). Esant didesniam įvirinimo gyliui  $g$  ( $g > s/4$ ), įtempiai  $\sigma_i$  mažėja, didėjant  $g$ , bet ne taip staigiai [16]. Didinant įvirinimo gyli  $g$  iki beveik lakšto storio įtempiai  $\sigma_i$  sumažėja apie 15 kartų lyginant su įtempiais  $\sigma_i$ , kai įvirinimo gylis  $g$  yra nedidelis.

Kaip matyti iš 33 pav. įtempių intensyvumas  $\sigma_i$ , labiausiai apkrautoje suvirintojo sujungimo vietoje didinant įvirinimo gyli  $g$  mažėja. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  didinant įvirinimo gyli  $g$  kitimo

dėsnis yra artimas tiesiniam dėsniai. Įvirinimo gyliui  $g$  padidėjus 3,5 karto įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  sumažėja apie 1,8 karto.



33 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške D priklausomybė nuo įvirinimo gylio  $g$  suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

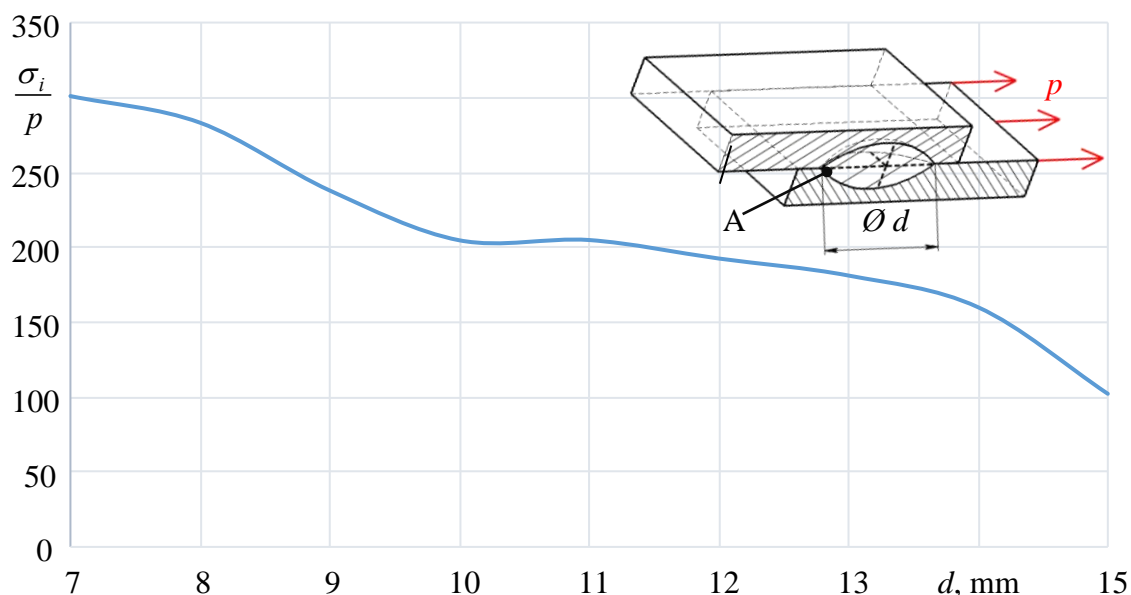
Tyrimas parodė, kad įvirinimo gylis turi didelę įtaką sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku stiprumui. Didinant įvirinimo gyli  $g$  suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempius galime sumažinti apie 15 kartų, o su išoriniu suvirinimo tašku įtempius galime sumažinti apie 2 kartus. Suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, kai įvirinimo gylis  $g$  yra mažas (įvirinimo gylis yra mažesnis nei ketvirtadalis lakšto storio), įtempiai susidaro apie 37 kartus didesni lyginant su išoriniu suvirinimo tašku, kai įvirinimo gylis  $g$  yra mažas (įvirinimo gylis  $g$  yra mažesnis nei ketvirtadalis lakšto storio). Kai įvirinimo gylis  $g$  suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku yra didelis (įvirinimo gylis  $g$  yra didesnis nei trys ketvirtadaliai lakšto storio) įtempiai susidaro apie 3 kartus didesni, nei sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, kai įvirinimo gylis  $g$  yra didesnis nei trys ketvirtaliai lakšto storio. Įvirinimo gylis  $g$  didesnę įtaką turi suvirintam sujungimui su vidiniu suvirinimo tašku-

#### 2.2.4 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens

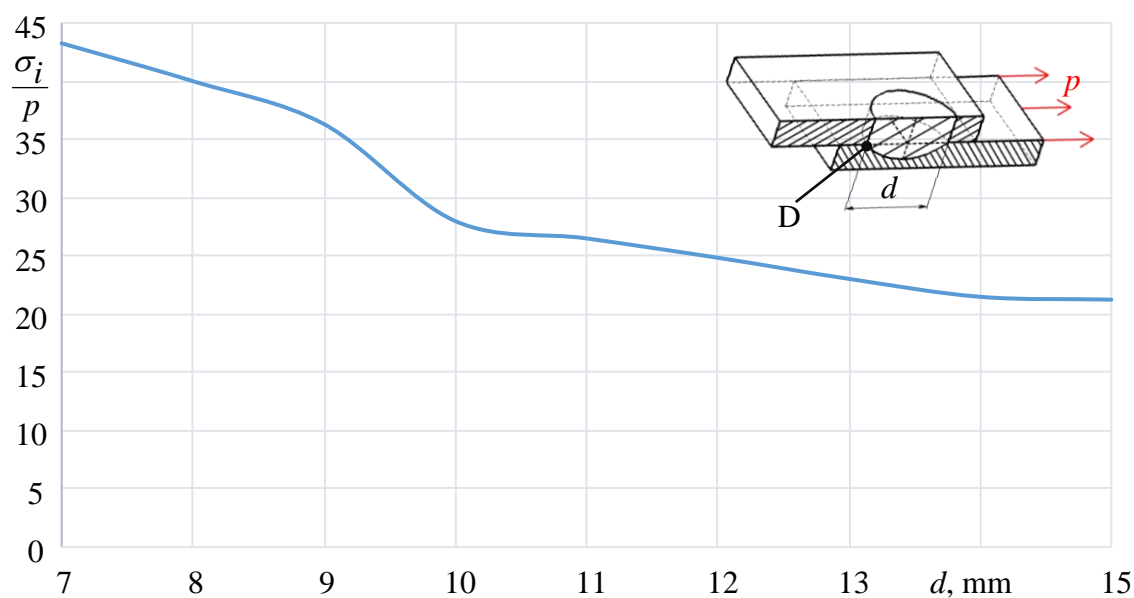
Suvirinto sujungimo skaičiavimo geometriniai parametrai, kai kinta suvirinimo taško skersmuo:  $d = 7...15$  mm – suvirinimo taško skersmuo;  $g = 2$  mm – suvirinimo taško įvirinimo gylis;

$t = 12,5 \text{ mm}$  – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų ( $c = 2 t = 25 \text{ mm}$ );  $b / 2 = 15 \text{ mm}$  – pusė lakšto pločio;  $l = 40 \text{ mm}$  – lakštų ilgiai;  $s = 4 \text{ mm}$  – lakštų storiai (žr. 7 pav. ir 8 pav.).

2.2.4 poskyryje buvo nagrinėjama įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens. Tyrimo metu suvirinimo taško skersmuo  $\varnothing d$  didėjo nuo 1,75 s iki 3,75 s.



34 pav. Suvirinto sujungimo su vidiniu suvirinimo tašku labiausiai apkrautoje vietoje kylančių įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens  $d$



35 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku labiausiai apkrautoje vietoje kylančių įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens  $d$

Kai suvirinimo taško skersmuo  $d$  yra nedidelis ( $d \leq 1,75 s$ ), tai įtempių intensyvumas  $\sigma_i$ , labiausiai apkrautoje suvirintojo sujungimo vietoje, didėjant  $d$  mažėja (žr. 34 pav.). Kai suvirinimo taško skersmeniu didėja, kai  $d \geq 2,5 s$ , įtempiai mažėja, bet ne taip staigiai, kaip tai vyksta esant  $d < 2,5 s$ . Didinant suvirinimo taško skersmenį  $d$  iki  $4 s$  įtempiai sumažėja apie 3 kartus.

Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinimo taško skersmens  $d$  pateiktas 35 pav. Suvirinto sujungimo su išoriniu suvirinimo tašku labiausiai apkrautoje vietoje kylančių įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  kitimo dėsnys yra panašus į 34 pav. įtempių intensyvumo kitimo dėsnį. Didinant suvirinimo taško skersmenį  $d$  iki  $4 s$  įtempiai sumažėja apie 2 kartus.

Suvirinimo taško skersmuo taip pat turi didelę įtaką suvirinto sujungimo stiprumui. Didinant suvirinimo taško skersmenį suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, įtempius  $\sigma_i$  galime sumažinti apie 3 kartus, o su išoriniu suvirinimo tašku įtempius  $\sigma_i$  galime sumažinti apie 2 kartus. Suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, kai suvirinimo taško skersmuo  $d$  yra mažas (yra apie beveik 2 kartus didesnis už lakšto storį), įtempiai susidaro apie 7 kartus didesni lyginant su išoriniu suvirinimo tašku. Kai suvirinimo taško skersmuo yra didelis (yra beveik 4 kartus didesnis už lakšto storį), suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku susidaro beveik 4 kartus didesni įtempiai lyginant su suvirintu sujungimu su išoriniu suvirinimo tašku. Kaip matyti iš 32 pav. ir 33 pav. didesnę įtaką suvirinimo taško skersmuo  $d$  turi suvirintam sujungimui su vidiniu suvirinimo tašku.

### 2.2.5 Įtempių priklausomybė nuo lakšto storio

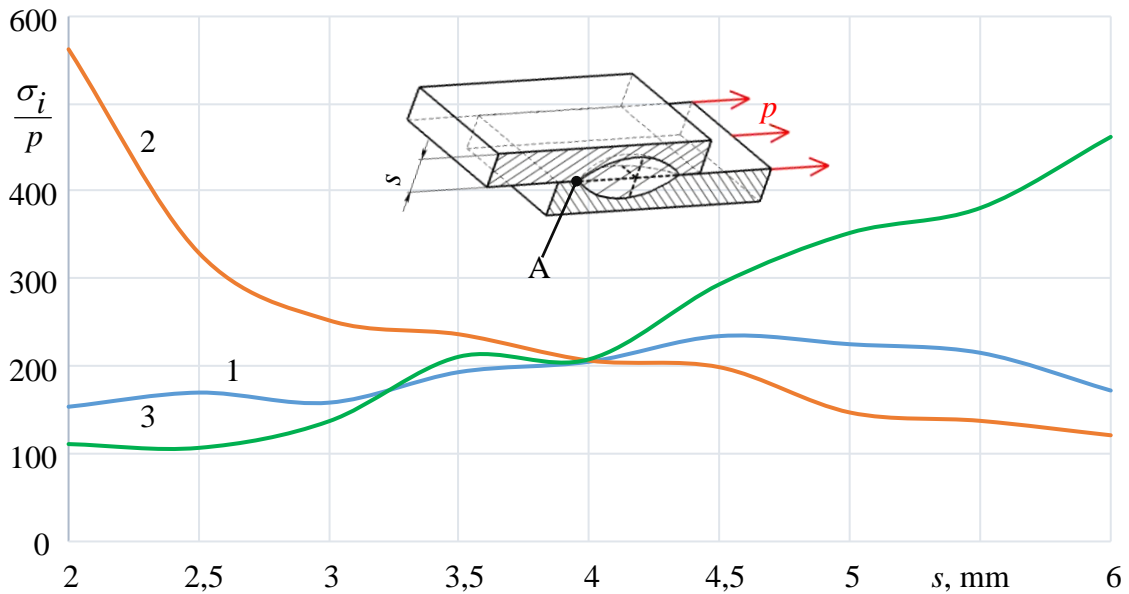
Suvirinto sujungimo skaičiavimo geometriniai parametrai, kai kinta suvirinto sujungimo lakšto storis:  $d = 10$  mm – suvirinimo taško skersmuo;  $g = 2$  mm – suvirinimo taško įvirinimo gylis;  $t = 12,5$  mm – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų ( $c = 2 t = 25$  mm);  $b / 2 = 15$  mm – pusė lakšto pločio;  $l = 40$  mm – lakštų ilgiai;  $s = 2 \dots 6$  mm – lakštų storiai (žr. 7 pav. ir 8 pav.).

36 pav. ir 37 pav. 1 kreivė žymi atvejį, kai abiejų lakštų storiai yra keičiami, 2 kreivė – kai keičiamas viršutinio lakšto storis; 3 kreivė – kai keičiamas apatinio lakšto storis.

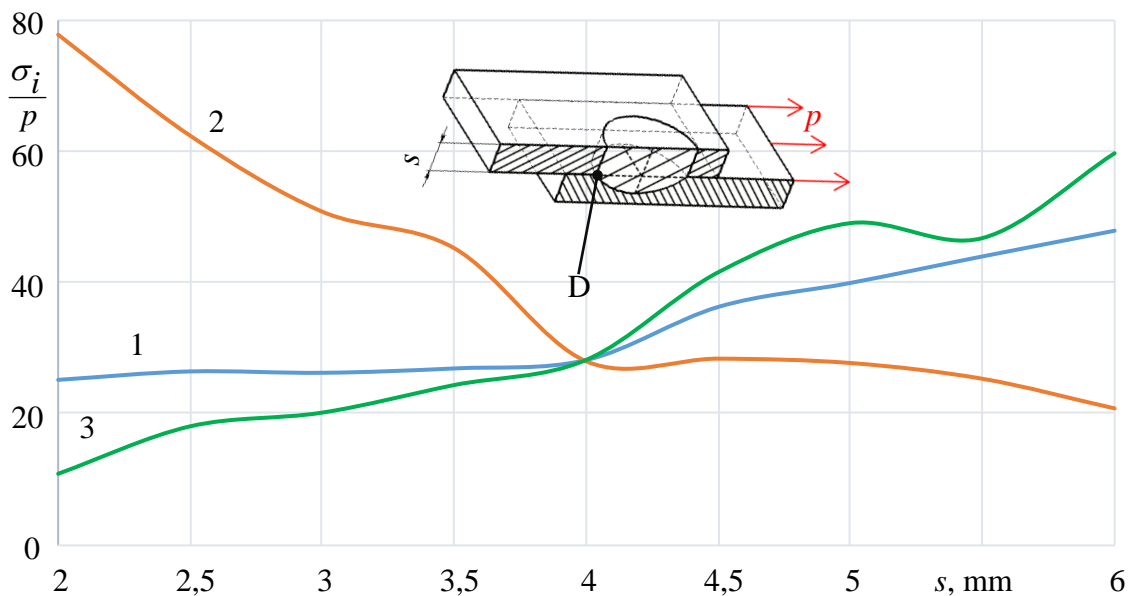
2.2.5 poskyryje buvo nagrinėjama įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio. Tyrimo metu buvo keičiama suvirinto sujungimo lakšto storiai  $s$  nuo  $0,2 d$  iki  $0,6 d$ . Buvo iširta įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė kai yra keičiamas abiejų lakštų storiai, kai yra keičiama viršutinio lakšto storis, o apatinio lakšto storis pastovus. Taip pat buvo iširta įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė kai yra keičiamas apatinio lakšto storis, o viršutinio lakšto storis pastovus.

Kai yra didinami abiejų lakšto storiai suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku ir kai didinamas apatinio lakšto storis (žr. 36 pav.) tai kai lakšto storis yra nedidelis ( $s \leq 0,2 d$ ), tai įtempių intensyvumas  $\sigma_i$ , labiausiai apkrautoje suvirinto sujungimo vietoje didėjant lakšto storiams  $s$

didėja. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  kitimo dėsnis yra artimas tiesės kitimo dėsniai. Lakšto storiui  $s$  padidėjus  $0,2 d$  iki  $0,6 d$  įtempių intensyvumas kai didėja abiejų lakštų storiai padedėja apie 1,1 karto,



36 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške A priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



37 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške D priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

o kai didėja apatinio lakšto storis įtempių intensyvumas padidėja apie 4,5 karto. Kai yra didinamas viršutinio lakšto storis kai lakšto storis nedidelis ( $s \leq 0,2 d$ ) didinant lakšto storį  $s$  įtempių intensyvumas staigiai mažėja. Kai lakšto storis yra didesnis  $s \geq 0,3 d$  įtempių intensyvumas mažėja

nebetaip staigiai kaip tai vyksta kai lakšto storis yra nedidelis. Lakšto storiui  $s$  padidėjus  $0,2 d$  iki  $0,6 d$  įtempių intensyvumas kai didėja viršutinio lakšto storis sumažėja apie 4,5 karto.

Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške D priklausomybė nuo suvirinto sujungimo lakšto storio suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku pateikimas 37 pav.. Įtempių intensyvumo kitimo dėsnis yra panašus į 36 pav. kitimo dėsnį. Lakštų storiams  $s$  padidėjus nuo  $0,2 d$  iki  $0,6 d$  įtempių intensyvumas kai didėja abiejų lakštų storiai padedėja apie 2 kartus, kai didėja viršutinio lakšto storis sumažėja apie 4 kartus, o kai didėja apatinio lakšto storis įtempių intensyvumas padidėja apie 4 kartus.

Taigi lakšto storis yra svarbus abiejuose suvirintuose sujungimuose. Kai yra didinami lakšto storiai suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  kinta nežymiai. Didinant lakštų storius įtempių intensyvumas su nagrinėtais storiais didinant lakštų storius, kai lakšto storis yra mažesnis nei  $0,4 d$  įtempių intensyvumas didėja, kai lakšto storis yra didesnis nei  $0,4 d$  įtempių intensyvumas mažėja. Kai yra didinami lakšto storiai suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  kinta didėja. Abiejuose nagrinėjamuose suvirintuose sujungimuose, kai yra didinamas viršutinis lakšto storis, o apatinis lakšto storis nekinta įtempių intensyvumas mažėja. O abiejuose nagrinėjamuose suvirintuose sujungimuose, kai yra didinamas apatinio lakšto storis, o viršutinio lakšto storis nekinta įtempių intensyvumas didėja.

### 2.2.6 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taško atstumo iki lakšto krašto

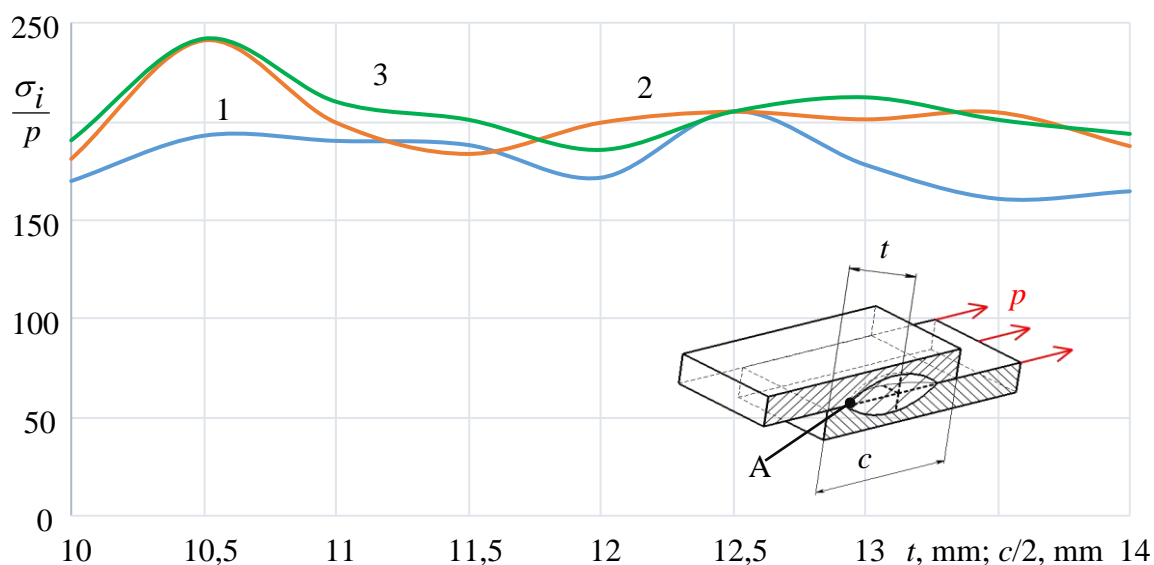
Suvirinto sujungimo skaičiavimo geometriniai parametrai, kai kinta suvirinto sujungimo suvirinimo taško atstumas nuo krašto:  $d = 10$  mm – suvirinimo taško skersmuo;  $g = 2$  mm – suvirinimo taško įvirinimo gylis;  $t = 10...14$  mm – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų ( $c = 2 t = 10...14$  mm);  $b / 2 = 15$  mm – pusė lakšto pločio;  $l = 40$  mm – lakštų ilgiai;  $s = 4$  mm – lakštų storiai (žr. 7 pav ir 8 pav.).

38 pav. ir 39 pav. 1 kreivė žymi atvejį, kai kinta abudu atstumai nuo krašto ( $c$  ir  $t$ ), 2 kreivė – kai kinta atstumas nuo krašto iki suvirinimo taško esančio arčiau suvirinto sujungimo apkrovos, 3 kreivė – kai kinta atstumas nuo krašto iki suvirinimo taško esančio arčiau suvirinto sujungimo ( $t$ ).

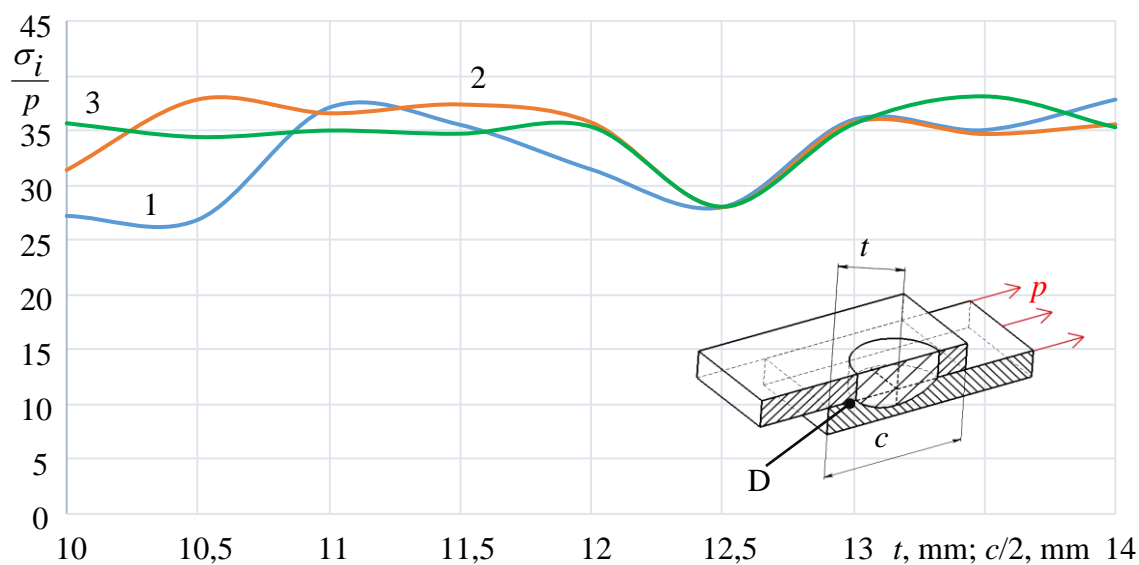
2.2.6 poskyryje buvo nagrinėjama įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirinto sujungimo suvirinimo taško atstumo nuo lakšto krašto. Atstumas nuo krašto buvo keičiamas nuo  $1 d$  iki  $1,4 d$ .

Kaip matyti iš 38 pav. suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku keičiant atstumą nuo krašto įtempiai kinta nenuosekliai. Įvertinus skaičiavimo paklaidą galime teigti, kad įtempiai suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku nežymiai priklauso nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto.

Kaip matyti iš 39 pav. įtempių intensyvumo kitimo dėsnis taip pat yra nenuoseklus kaip ir 38 pav.. Įvertinus skaičiavimo paklaidą galime teikti, kad įtempiai suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku nežymiai priklauso nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto.



38 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške A priklausomybė suvirinto sujungimo nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku



39 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  charakteringame taške D priklausomybė suvirinto sujungimo nuo suvirinimo taško atstumo nuo krašto sujungime su išoriniu suvirinimo tašku

### 2.2.7 Įtempių priklausomybė nuo suvirinimo taškų skaičiaus

Suvirinto sujungimo skaičiavimo geometriniai parametrai, kai kinta suvirinto sujungimo suvirinimo taškų skaičiaus :  $d = 10 \text{ mm}$  – suvirinimo taško skersmuo;  $g = 2 \text{ mm}$  – suvirinimo taško

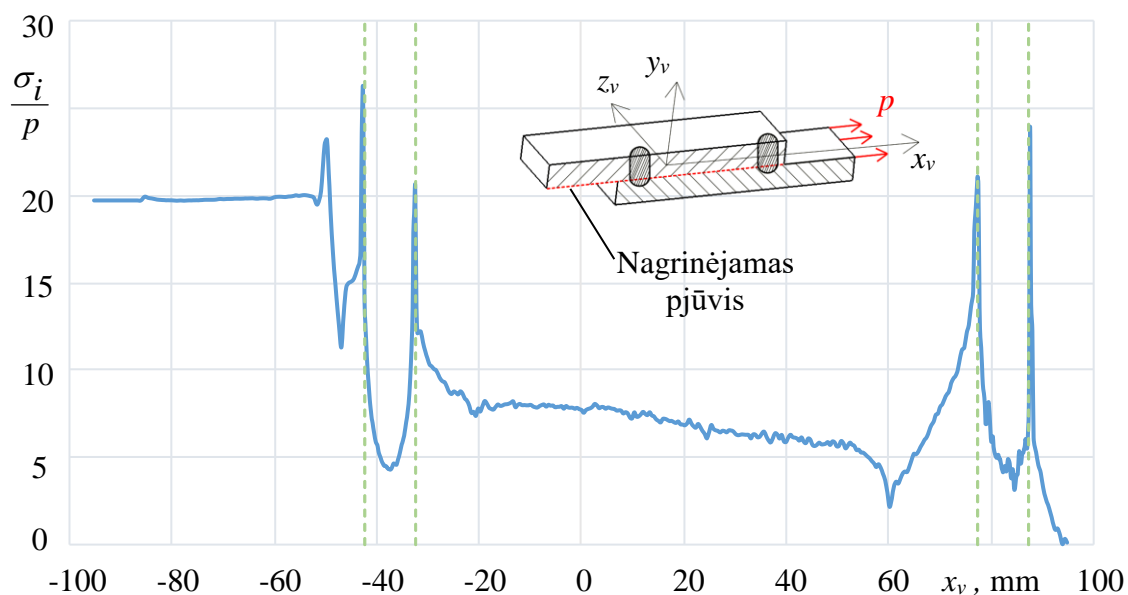


įvirinimo gylis;  $t = 12,5$  mm – suvirinimo taško atstumas iki lakštų kraštų;  $b / 2 = 15$  mm – pusė lakšto pločio;  $l = 190$  mm – lakštų ilgiai;  $s = 4$  mm – lakštų storiai (žr. 7 pav ir 8 pav.). Tarp žalsvų punktyrinių linijų esantis plotas yra suvirinimo taško metalas.

2.2.7 poskyryje buvo nagrinėjama įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  priklausomybė nuo suvirintame sujungime esančių suvirinimo taškų skaičiaus, kai lakštų užleidimo vienas ant kito dydis yra vienodas. Kraštinių suvirinimo taškų atstumai iki lakštų krašto nebuvo keičiami, tai yra  $t = \text{const}$ . Įterpiant papildomą suvirinimo tašką sujungime buvo keičiamas žingsnis tarp suvirinimo taškų  $t_z$ .

Suvirintame sujungime suvirinimo taško išdėstymo žingsnis:

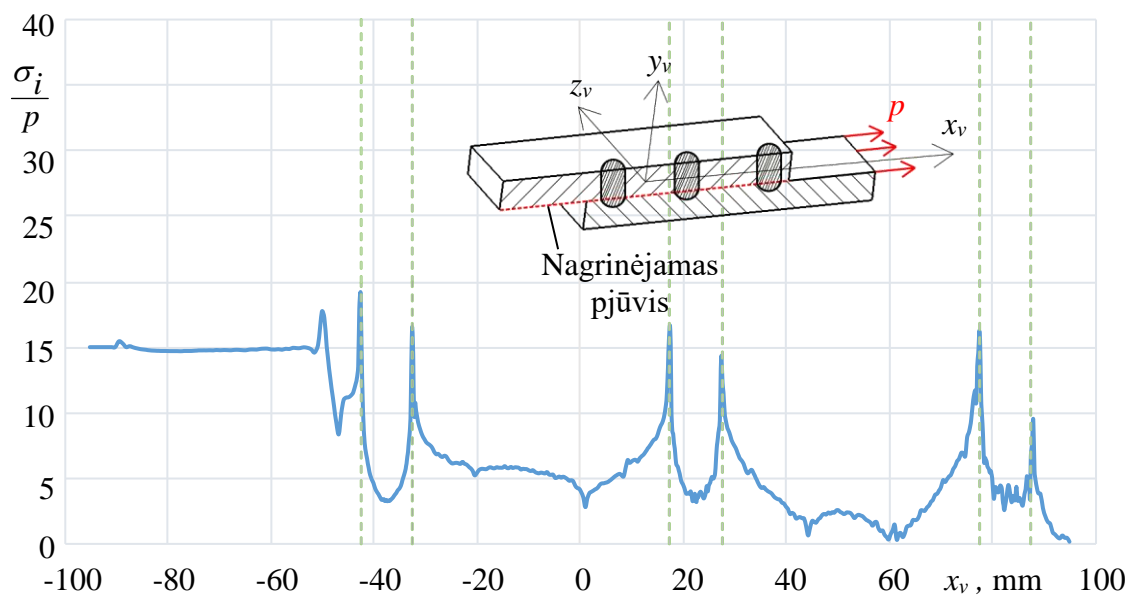
1. Suvirintame sujungime su dviem suvirinimo taškais, suvirinimo taško žingsnis  $t_z$  yra 120 mm
2. Suvirintame sujungime su trimis suvirinimo taškais, suvirinimo taško žingsnis  $t_z$  yra 60 mm
3. Suvirintame sujungime su keturiais suvirinimo taškais, suvirinimo taško žingsnis  $t_z$  yra 40 mm
4. Suvirintame sujungime su pankais suvirinimo taškais, suvirinimo taško žingsnis  $t_z$  yra 30 mm



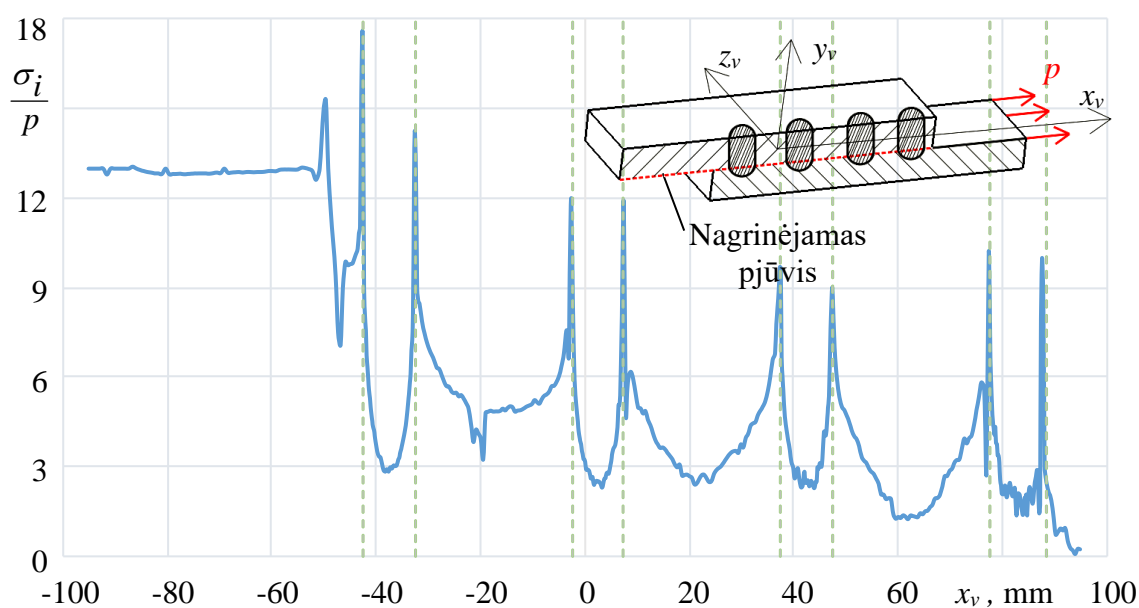
40 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant dviem suvirinimo taškams

Kaip matyti iš 40 pav. didžiausias įtempių intensyvumas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku esant dviem suvirinimo taškams susidaro suvirinimo taškų kraštuose. Didžiausias įtempio intensyvumas susidaro suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Apie 1,1 karto mažesni įtempiai susidaro suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo apkrovos. Pagrindiniame metale esančiame tarp suvirinimo taškų, ir suvirinimo taškų centre įtempiai susidaro nedideli, apie 6 kartus mažesni lyginant su didžiausiais nagrinėjamame pjūvyje susidarančiais įtempiais.

Kaip matyti iš 41 pav. didžiausias įtampių intensyvumas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku esant trims suvirinimo taškams susidaro suvirinimo taškų kraštuose. Didžiausias įtampių intensyvumas  $\sigma_i$  susidaro suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Tolstant nuo suvirinimo taško esančio arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo kiekviename suvirinimo taške įtempiai sumažėja apie 1,1 karto. Pagrindiniame metale esančiame tarp suvirinimo taškų, ir suvirinimo taškų centre įtempiai susidaro nedideli, apie 5 kartus mažesni lyginant su didžiausiais nagrinėjame pjūvyje susidaranciais įtempiais.

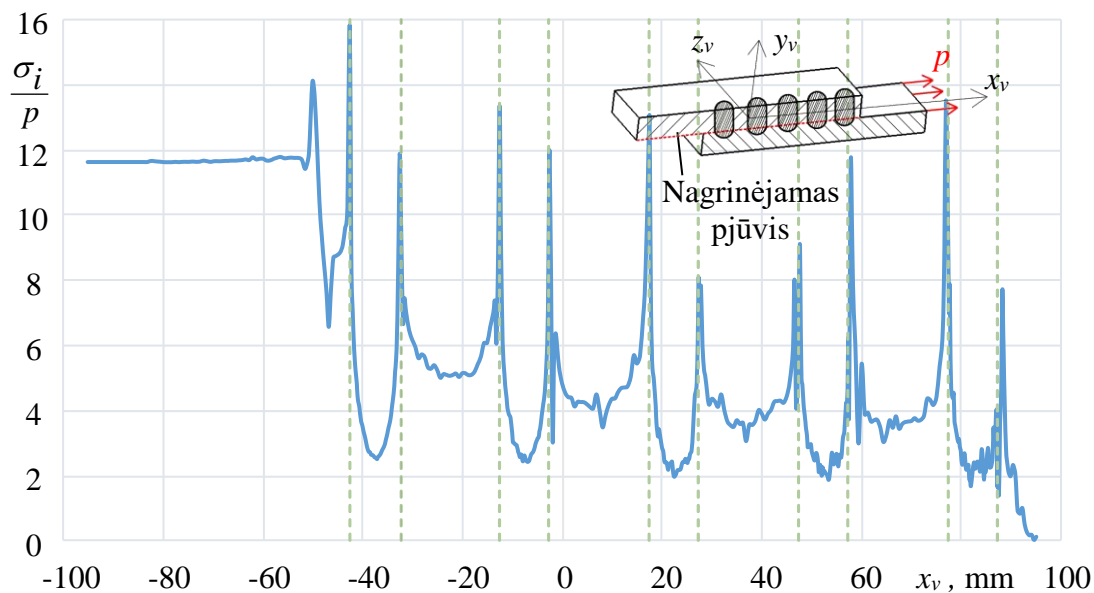


41 pav. Įtampių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams

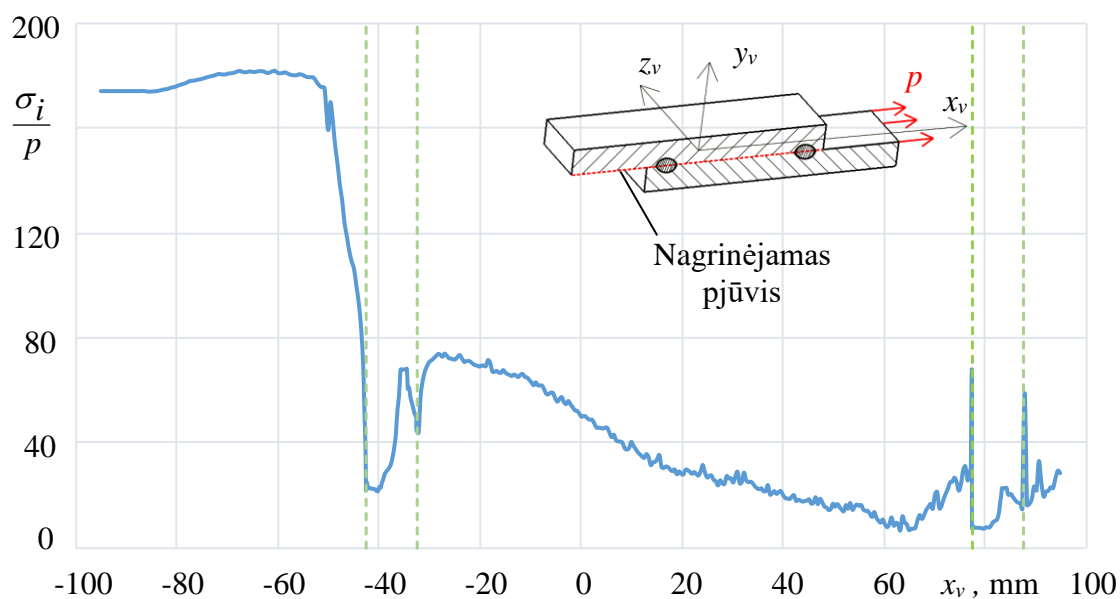


42 pav. Įtampių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant keturiems suvirinimo taškams

Kaip matyti iš 42 pav. didžiausias įtempių intensyvumas su išoriniu suvirinimo tašku esant keturiems suvirinimo taškams susidaro suvirinimo taškų kraštuose. Įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  nagrinėjamame suvirintame sujungime kinta panašiai, kaip ir suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams. Nagrinėjamame pjūvyje suvirinimo taško centre ir pagrindiniame metale susidarę įtempiai yra apie 6 kartus mažesni už didžiausius susidariusius įtempius nagrinėjamame pjūvyje.



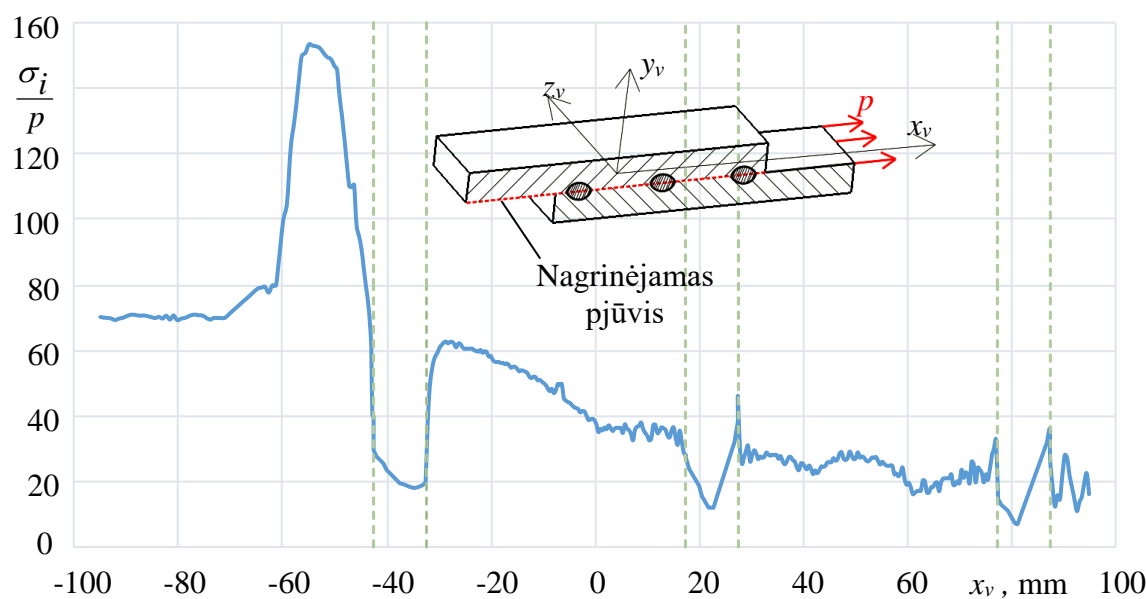
43 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant penkiems suvirinimo taškams



44 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant dviem suvirinimo taškams

Kaip matyti iš 43 pav. didžiausias įtempių intensyvumas su išoriniu suvirinimo tašku esant penkiems suvirinimo taškams susidaro suvirinimo taškų kraštuose. Įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  nagrinėjamame suvirintame sujungime kinta panašiai, kaip ir suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams. Nagrinėjamame pjūvyje suvirinimo taško centre ir pagrindiniame metale susidarę įtempiai yra apie 5 kartus mažesni už didžiausius susidariusius įtempius nagrinėjamame pjūvyje.

Kaip matyti iš 44 pav. didžiausias įtempių intensyvumas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku esant dviems suvirinimo taškams susidaro prieš suvirinimo tašką esantį arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Apie 3 kartus mažesnis įtempių intensyvumas susidaro suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo apkrovos lyginant su didžiausiu įtempiu intensyvumu suvirintame sujungime. Suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo apkrovos įtempių intensyvumas susidaro apie 1,2 karto mažesnis lyginant su įtempių intensyvumu suvirinimo taške arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Pagrindiniame metale esančiame tarp suvirinimo taškų, ir suvirinimo taškų centre įtempiai susidaro nedideli, apie 6 kartus mažesni lyginant su didžiausiais nagrinėjamame pjūvyje susidaranciais įtempiais.

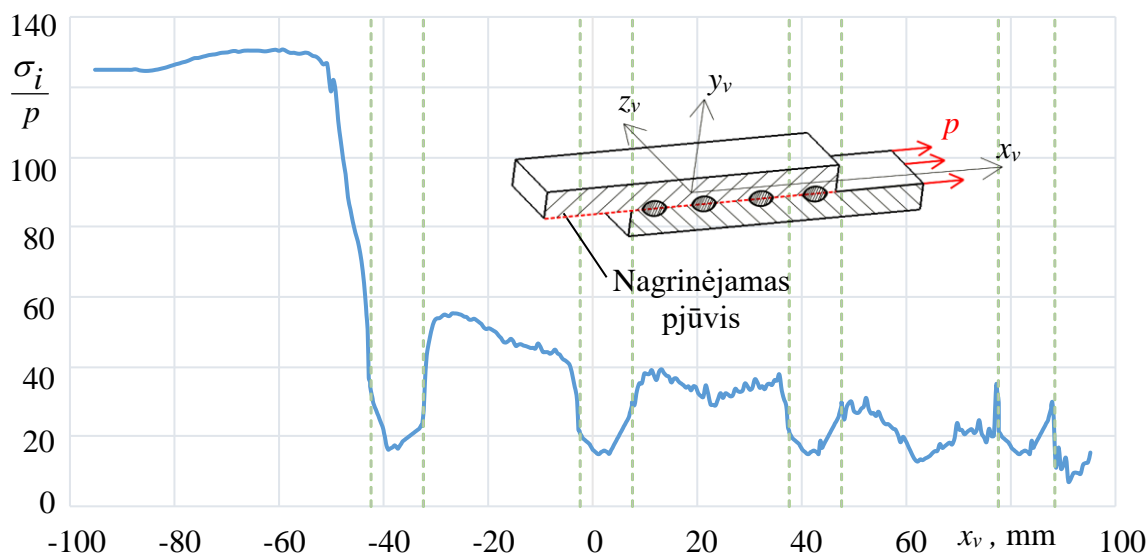


45 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams

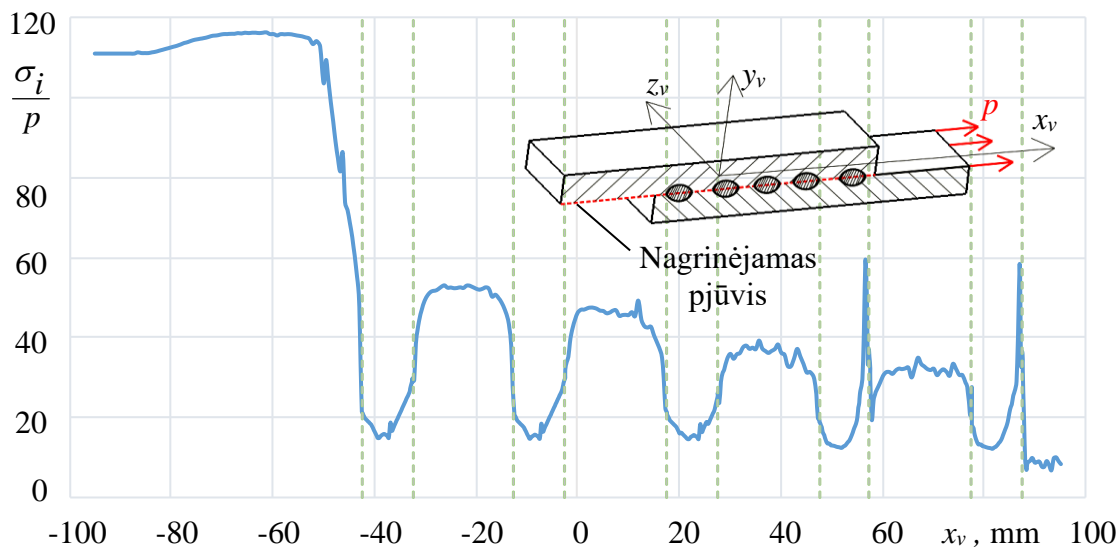
Kaip matyti iš 45 pav. didžiausias įtempių intensyvumas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku esant trims suvirinimo taškams susidaro prieš suvirinimo tašką esantį arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Nagrinėjant įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymą suvirinimo taškuose matyti, kad didžiausias įtempių intensyvumas susidaro suvirinimo taške esančiame arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Toliau nuo suvirinimo taško esančio arčiau suvirinto sujungimo

įtvirtinimo kiekviename suvirinimo taške įtempiai sumažėja apie 1,2 karto. Nagrinėjamame pjūvyje suvirinimo taško centre ir pagrindiniame metale susidarę įtempiai yra apie 7 kartus mažesni už didžiausius susidariusius įtempius nagrinėjamame pjūvyje.

Kaip matyti iš 46 pav. didžiausias įtempių intensyvumas su vidiniu suvirinimo tašku esant keturiems suvirinimo taškams susidaro prieš suvirinimo tašką esanti arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  nagrinėjamame suvirintame sujungime kinta panašiai, kaip ir suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams. Nagrinėjamame pjūvyje suvirinimo taško centre ir pagrindiniame metale susidarę įtempiai yra apie 6,5 kartus mažesni už didžiausius susidariusius įtempius nagrinėjamame pjūvyje.

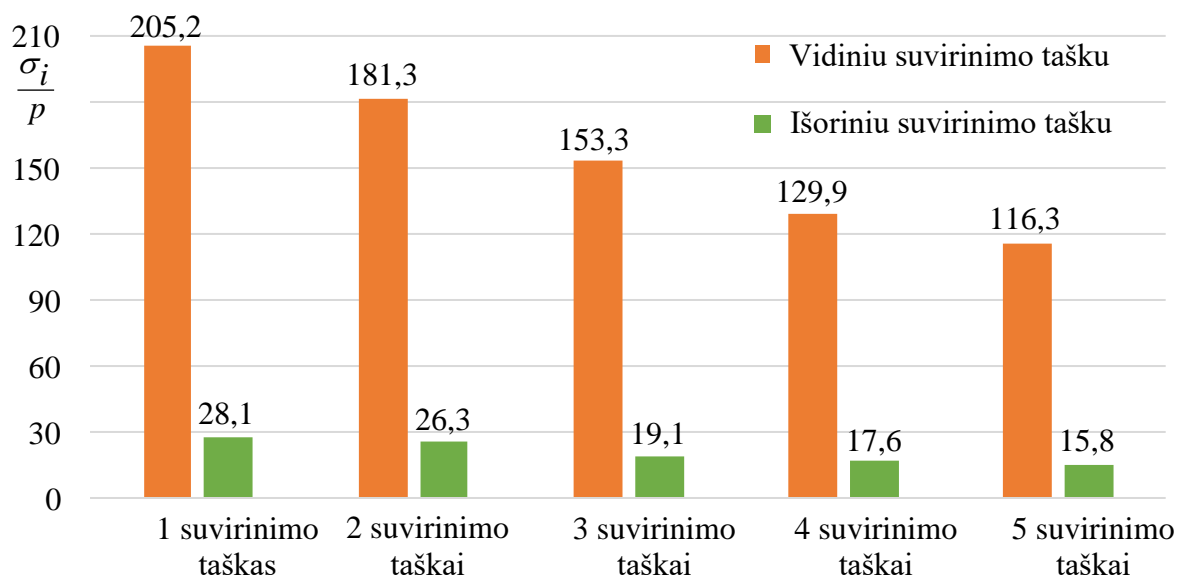


46 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant keturiems suvirinimo taškams



47 pav. Įtempių intensyvumo  $\sigma_i$  pasiskirstymas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant penkiems suvirinimo taškams

Kaip matyti iš 47 pav. didžiausias įtempių intensyvumas su vidiniu suvirinimo tašku esant penkiems suvirinimo taškams susidaro prieš suvirinimo tašką esanti arčiau suvirinto sujungimo įtvirtinimo. Įtempių intensyvumas  $\sigma_i$  nagrinėjamame suvirintame sujungime kinta panašiai, kaip ir suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, esant trims suvirinimo taškams. Nagrinėjamame pjūvyje suvirinimo taško centre ir pagrindiniame metale susidarę įtempiai yra apie 7 kartus mažesni už didžiausius susidariusius įtempius nagrinėjamame pjūvyje.



48 pav. Suvirintų sujungimų su keliais suvirinimo taškais palyginimas

Kaip matyti iš 48 pav. didesni įtempiai susidaro suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku lyginant su suvirintame sujungime su išoriniu suvirintu sujungimu susidaranciais įtempiais. Suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempiai susidaro apie 7 kartus didesni lyginant su suvirintu sujungimu su vidiniu suvirinimo tašku. Didžiausi įtempiai, tiek suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku, tiek su išoriniu suvirinimo tašku susidaro, kai suvirintas sujungimas su vienu suvirinimo tašku, mažiausi – kai suvirintas sujungimas yra su penkiais suvirinimo taškais. Kiekvienas papildomas suvirinimo taškas suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempius sumažina apie 1,2 karto. Kiekvienas papildomas suvirinimo taškas suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku įtempius sumažina apie 1,1 karto.

## IŠVADOS

1. Taškiniame suvirintajame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško vietoje, kuri yra arčiausiai lakšto krašto iš tos sujungimo pusės, kurioje po apkrovimo suvirinti lakštai vienas nuo kito yra plėšiami. Šioje vietoje susidaręs didžiausias įtempių intensyvumas yra apie 15 kartų didesnis už įtempių intensyvumą kitose sujungimo vietose.
2. Taškiniame suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku didžiausi įtempiai susidaro suvirinimo taško vietoje, kuri yra arčiausiai lakšto krašto iš tos sujungimo pusės, kurioje po apkrovimo suvirinti lakštai vienas nuo kito yra plėšiami. Šioje vietoje susidaręs didžiausias įtempių intensyvumas yra apie 2 kartus didesnis už įtempių intensyvumą kitose sujungimo vietose.
3. Didinat įvirinimo gylį suvirinto sujungimo atlaikomas stiprumas didėja. Įvirinimo gylį padidinus 3,5 karto suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempius galime sumažinti apie 15 kartų, o su išoriniu suvirinimo tašku – apie 2 kartus.
4. Didinat suvirinimo taško skersmenį suvirinto sujungimo atlaikomas stiprumas didėja. Suvirinimo taško skersmenį padidinus 2,1 karto suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku įtempius galime sumažinti apie 3 kartus, o su išoriniu suvirinimo tašku – beveik 2 kartus.
5. Suvirinto sujungimo stiprumui suvirinimo taško atstumas nuo lakšto krašto didelės įtakos neturi. Padidinus suvirinimo taško atstumą nuo lakštų krašto 1,4 karto sujungime tiek su vidiniu tiek su išoriniu suvirinimo tašku įtempiai padidėja apie 1,05 karto.
6. Didinant suvirinimo taškų skaičiui suvirintame sujungime atlaikomas stiprumas didėja. Suvirintame sujungime su vidiniu suvirinimo tašku kiekvienas suvirinimo taškas įtempius sumažina apie 1,2 karto, o suvirintame sujungime su išoriniu suvirinimo tašku – apie 1,1 karto.

## LITERATŪRA

1. **Dainius Vaičiulis.** Mašinų elementai 1. Prieiga per internetą: < <http://www.mechanikosinžinierius.lt/wp-content/uploads/2015/08/me1-05.pdf> > [žiūrėta 2017-01-12].
2. **Raimondas Šniolis.** Medžiagų inžinerija. – Vilnius, 2004. Prieiga per internetą: < [http://www.marko.lt/wp-content/uploads/2016/09/2014\\_Medziagu\\_inzinerija\\_ok.pdf](http://www.marko.lt/wp-content/uploads/2016/09/2014_Medziagu_inzinerija_ok.pdf) > [žiūrėta 2016-11-20].
3. **Назаренко И. И.** Патона Контактная точечная сварка металла больших толщин // Сварочное производство, № 3, 1969. Prieiga per interneto: < <http://k-svarka.com/content/kontaktnaia-tochiechnaia-svarka-mietalla-bol-shikh-tolshchin> > [žiūrėta 2016-11-23].
4. **A.M. Pereira, J.A.M. Ferreira, F.V. Antunes, P.J. Bártolo.** Strength of aluminium resistance spot welded and weldbonded joints. Portugal, 2010 Prieiga per internetą: < [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0870-83122010000200005](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122010000200005) > [žiūrėta 2017-04-12].
5. **Pouranvari M.** Fracture toughness of martensitic stainless steel resistance spot welds. Iran, 2016. Prieiga per internetą: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509316313041> > [žiūrėta 2017-02-12].
6. **Lasse Souminen, Mansoor Khurshid, Jari Parantainen.** Residual stresses in welded components following post-weld treatment methods. Finland, 2013. Prieiga per internetą: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813079061> > [žiūrėta 2017-02-12].
7. **Nizamettin Kahraman.** The influence of welding parameters on the joint strength of resistance spot-welded titanium sheets. Turkey, 2005. Prieiga per internetą < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306905002670> > [žiūrėta 2017-05-08].
8. **M. Vural, A. Akkus, B. Eryürek.** Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets. Turkey, 2006. Prieiga per internetą < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013606002032> > [žiūrėta 2017-05-09].
9. **Ranfeng Qiu, Shinobu Satonakab, Chihiro Iwamoto.** Effect of interfacial reaction layer continuity on the tensile strength of resistance spot welded joints between aluminum alloy and steels. China, Japan 2009. Prieiga per internetą < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306909000764> > [žiūrėta 2017-05-09].
10. **A. Gean, S. A. Westgate, J. C. Kucza ir J. C. Ehrstrom.** Static and Fatigue Behavior of Spot-Welded 51 82-0 Aluminum Alloy Sheet. United Kingdom 1999. Prieiga per internetą < [https://app.aws.org/wj/supplement/WJ\\_1999\\_03\\_s80.pdf](https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_1999_03_s80.pdf) > [žiūrėta 2017-05-09].
11. **Dawei Zhao, Yuanxun Wang, Dongjie Liang, Peng Zhang.** Modeling and process analysis of resistance spot welded DP600 joints based on regression analysis. China 2016. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127516311017> > [žiūrėta 2017-05-09].



12. **Baohua Changa, , Yaowu Shib, Shijie Dongc.** Comparative studies on stresses in weld-bonded, spot-welded and adhesive-bonded joints. China 1999. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013698003550> > [žiūrėta 2017-05-09].
13. **D.Q. Sun, B. Lang, D.X. Sun, J.B. Li.** Microstructures and mechanical properties of resistance spot welded magnesium alloy joints. China 2007. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509307001189> > [žiūrėta 2017-05-12].
14. **Tomoyuki Fujii, Keiichiro Tohgo, Yukinori Suzuki, Takahiro Yamamoto, Yoshinobu Shimamura.** Fatigue strength and fatigue fracture mechanism of three-sheet spot weld-bonded joints under tensile–shear loading. Japan 2016. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142112316000724> > [žiūrėta 2017-05-12].
15. **F. Esmailia, A. Rahmanib, S. Barzegarc.** A. Afkard. Prediction of fatigue life for multi-spot welded joints with different arrangements using different multiaxial fatigue criteria. Iran 2015. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306915000540> > [žiūrėta 2017-05-13].

#### **DARBO TEMATIKA PASKELBTI STRAIPSNIAI**

16. **Samulionis J., Vaičiulis D.** Taškinių suvirintųjų sujungimų stiprumas, esant statiniam skersiniam apkrovimui // Studentų mokslinių darbų konferencijos „Technologijų ir verslo aktualijos – 2017“ pranešimų medžiaga. Panevėžys, 2017. (Atiduota leidybai).