

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Augustas Kreišmontas

**PLIENINIŲ SPRAUSTASIENIŲ KRANTINĖS ĮTEMPIŲ IR
DEFORMACIJŲ ANALIZĖ NUO INKARO ĮTEMPIMO
JĖGOS**

Uosto statinių studijų programos

Magistro baigiamasis darbas

Studijų kodas: 621H20004

Darbo vadovas

lekt. dr. Darius Narmontas

Klaipėda, 2016

KLAIPĖDA UNIVERSITY

Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences

Department of Marine Engineering

Augustas Kreišmontas

**STEEL SHEET QUAY STRESS AND STRAIN ANALYSIS
FROM ANCHOR TENSIONING FORCE**

Port structures study program

Master Thesis

Studies code: 621H20004

Academic supervisor

lekt. dr. Darius Narmontas

Klaipeda, 2016

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Statybos katedra

TVIRTINU_____

Katedros vedėjas

Lekt. dr. D.Narmontas

PLIENINIŲ SPRAUSTASIENIŲ KRANTINĖS ĮTEMPIŲ IR DEFORMACIJŲ ANALIZĖ NUO INKARO ĮTEMPIMO JĖGOS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius

TMNUS-14 gr. magistrantas

Augustas Kreišmontas

(data, parašas)

Vadovas

Lekt. Dr. D. Narmontas

(data, parašas)

Recenzentas

Prof. dr. Michail Samofalof

(data, parašas)

Recenzentas

Doc. dr. Larisa Vasiljeva

(data, parašas)

CD pateiktas

Lekt. Dr. D. Narmontas

(data, parašas)

Klaipėda, 2016

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

.....Augustas Kreišmontas.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Plieninių spraustasienių krantinės įtempimų ir deformacijų analizė nuo inkaro įtempimo jėgos

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

.....Augustas Kreišmontas.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

.....Augustas Kreišmontas.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti *leidžiu*

2016.05.27
(data)

.....
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)
dr. Darius Narmontas
(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo Jūrų inžinerijos katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

.....
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)
(data)

Pildo Jūrų inžinerijos katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas ir programų vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

.....
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)
(data) (katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Magistro baigiamąjį darbą ginti *leidžiu*

2016-05-27
(data)

.....
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)
dr. Darius Narmontas
(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentais skiriu

.....
(įrašyti recenzento vardą, pavardę)
prof. dr. Robertas Šamajelis
(įrašyti recenzento vardą, pavardę)

2016-05-27
(data)

.....
(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)
dr. Darius Narmontas

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
JŪRŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Uosto statinių studijų programa,
Valstybinis kodas 612H20004
Antra pakopa:
Statybos inžinerijos magistro kvalifikacija

TVIRTINU:
Studijų programos vadovas
Dr. Darius Narmontas

.....
(parašas)
2015 m. 10 mėn. 02 d.

**MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO
UŽDUOTIS**

Studentas

Augustas Kreišmontas
(vardas, pavardė)

Baigiamojo magistro darbo tema

Plieninių spraustasienių krantinės įtempių ir deformacijų analizė nuo inkaro
įtempimo jėgos

Darbe išnagrinėti, ištirti ir aprašyti šias dalis:

1. Įvadas
2. Krantinių iš plonasienių spraustasienių apžvalga;
3. Apkrovos ir poveikiai į krantinių elementus;
4. Krantinių iš plieninių plonasienių spraustasienių konstrukcijų ir projektavimo ypatumai;
5. Eksperimentinio spraustasienės ir inkaro sąveikos modelio sukūrimas.
6. Eksperimento atlikimas;
7. Fizinio eksperimento modelio diskretizavimas baigtiniais elementais ir skaitmeninis tyrimas;
8. Skaitmeninio ir fizinio eksperimento rezultatų apibendrinimas ir palyginimas;
9. Eksperimentinių tyrimų rezultatų sąsajos su krantinių iš plieninių plonasienių spraustasienių konstrukcija analizė.
10. Išvados
11. Literatūros sąrašas

Darbą parengti ir pateikti pagal KU Senato 2010 m. balandžio mėn. 09 d. nutarimu Nr. 11 – 56 patvirtintu „Klaipėdos universiteto studentų savarankiškų rašto ir meno darbų bendrųjų reikalavimų aprašą“.

Užduoties gavimo data: 2015 rugsėjo mėn. 21 d.
Darbo baigimo terminas: 2016 gegužės mėn. 27 d.

Studento parašas

Augustas Kreišmontas
(vardas, pavardė)

Darbo vadovas

lekt. dr. Darius Narmontas
(vardas, pavardė)

.....
(parašas)

.....
(parašas)

Baigiamojo darbą pateikti dviem popieriniais egzemplioriais (recenzentai, po recenzavimo grąžinama gynimo komisijai) ir kompiuterinė „V_Pavarde temos_pirmi_penki_zodziai.pdf“ laikmena
Kompiuterinė laikmena pateikiama dviem egzemplioriais: baigiamojo darbo vadovui ir studijų programos vadovui.

Klaipėdos universitetas
Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas
Jūrų inžinerijos katedra

Uosto statinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

Plieninių spraustasienuų krantinės įtempimų ir deformacijų analizė nuo inkaro įtempimo jėgos

Autorius: A. Kreišmontas

Vadovas: lekt. dr. D. Narmontas

Kalba: lietuvių

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe analizuojama kaip inkaro įtempimo jėga veikia spraustasienuų elementą ir ar šio proceso metu neatsiranda destruktivių požymių elemente. Tikrinama kaip plieninės plokštelės skerspjūvio pokyčiai daro įtaką įtempimų ir deformacijų pasiskirstymui spraustasienuų elemente. Darbe atliekama matematinio modelio ir laboratorinio bandinio rezultatų analizė.

Teorinėje dalyje aptariami plonasienių spraustasienuų krantinių tipai, analizuojamos krantinių konstrukcinės savybės, skerspjūvio parinkimo galimybės. Taip pat apžvelgiamas gruntinio inkaro įrengimas ir išbandymas.

Eksperimentinėje dalyje sukurtas matematinis modelis imituojantis inkaro įtempimo jėgos poveikį plieninės spraustasienuų elementui. Pagal matematinį modelį pagaminti keturi laboratoriniai bandiniai, kurie apkraunami jėga. Matematinio modelio rezultatai palyginami su laboratorinių bandinių rezultatais. Gauti rodmenys atvaizduojami grafiškai. Gauti rezultatai rodo, kad matematinis modelis beveik atitinka laboratorinį bandinį, o realaus bandinio rezultatai beveik nesiskiria nuo sumažinto matematinio modelio rezultatų.

Baigiamąjį darbą sudaro: 35 paveikslai ir 11 lentelių. Baigiamąjį darbą sudaro 62 puslapiai.

Raktažodžiai: spraustasienuė, plieninė, įtempiai, inkaras.

Klaipėda university

Marine technology and natural sciences department

Maritime engineering department

Port structures study program in the final master's work

Steel sheet quay stress and strain analysis from anchor tensioning force

Author: A. Kreišmontas

Academic supervisor: lekt. dr. D. Narmontas

Thesis language – Lithuanian

SUMMARY

The master's thesis is aimed at analysing how anchor tensioning force affects the steel sheet pile and if the destructive indications occur during this process. It also investigates the bond between changes in steel plate cross section and stress and strain in the steel sheet pile.

Theoretical examinations about steel sheet pile types and constructional properties have been made. The comparison of different sections has been discussed and the methods of dead man anchor installation and approval have been reviewed.

The examination of the impact of anchor tensioning force has been carried out and the results of two models have been compared. The results show that the difference between mathematical and experimental model is barely visible.

This work consists of: 62 page, 35 pictures and 11 tables.

Key words: steel sheet, tensioning force, anchor.

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Daliniai poveikių koeficientai γF	30
2 lentelė. Rimties slėgio koeficientų reikšmės.....	33
3 lentelė. PU – 12 plieninės spraustasienės elemento charakteristikos.....	44
4 lentelė. Gruntinio inkaro DIWI R51L charakteristikos.....	45
5 lentelė. Maksimalūs įtempiai spraustasienės elemente (gauti ties skyde)	48
6 lentelė. Didžiausi įtempiai spraustasienės elemente(ties plokštelės kraštu)	49
7 lentelė. 1 ir 2 bandinio deformacijos.....	55
8 lentelė. 3 ir 4 bandinio deformacijos.....	55
9 lentelė. Bandymas su plokšte 160x210x30	56
10 lentelė. Bandymas su plokšte 160x160x30	56
11 lentelė. Didžiausių įtempių reikšmės spraustasienės elemente	58

Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Spraustasienių krantinių tipai	14
2 pav. Spraustasienės krantinės skirstymas pagal medžiagiškumą.....	15
3 pav. Medinių spraustasienių elementų charakteristikos.....	17
4 pav. Gelžbetoninės spraustasienės elemento charakteristikos	20
5 pav. HPFRC tipo gelžbetoninės spraustasienės elementai.....	21
6 pav. Z ir AWL tipo skerspjūviai	21
7 pav. Plieninių spraustasienių tipai.....	22
8 pav. Korozijos veikiamas plieninės spraustasienės elementas.....	24
9 pav. Plieninės spraustasienės įgilinimas išspraudimo būdu	25
10 pav. Plieninės spraustasienės įgilinimas įkalimo būdu	26
11 pav. Plieninės spraustasienės element įgilinimas vibruojant	26
12 pav. Įgilintų atraminių sienų irimas dėl pasisukimo ir slinkimo.....	27
13 pav. Įgilintų sienų irimas dėl vertikaliosios pusiausvyros netekties	27
14 pav. Suirimas dėl visuminio stabilumo netekties	28
15 pav. Konstrukcinių elementų ir pagrindo irimas.....	28
16 pav. Spraustasienės elemento, kaip laisvai atremtos sijos, schema.....	37
17 pav. Spraustasienės elemento, kaip standžiai įtvirtintos sijos, schema.....	37
18 pav. Inkaras	39
19 pav. Inkaro gręžimas	42
20 pav. Inkaro bandymo schema.....	42

21 pav. Nagrinėjamos krantinės skerspjūvis.....	44
22 pav. Gražtinė galvutė, skirta smėliniams ir žvyriniams gruntams	45
23 pav. Inkaro įtempimo jėgos veikimo schema.....	46
24 pav. Skaitmeninio bandinio modelis	47
25 pav. maksimalūs įtempiai spraustasienės elemente (ties skyje).....	50
26 pav. Didžiausi įtempiai spraustasienės elemente (ties plokštelės kraštu)	50
27 pav. Įtempių pasiskirstymas spraustasienėje, kai plokštelių ilgis nuo 100 iki 180mm.....	51
28 pav. Įtempių pasiskirstymas spraustasienėje, kai plokštelių ilgis nuo 180 iki 250mm.....	51
29 pav. Plieninės spraustasienės PU-12 nupjauta dalis.....	52
30 pav. S235 plieno klasės plieninės plokštelės 160x160x30 ir 160x210x30 mm.....	53
31 pav. Bandinio schema	54
32 pav. Deformuoti laboratorinis bandinys ir skaitmeninis modelis	55
33 pav. Realaus dydžio spraustasienės elemento apkrauto inkaro įtempimo jėga skaičiuojamoji schema	57
34 pav. Įtempių pasiskirstymas realaus dydžio spraustasienės elemente.....	59
35 pav. Deformacijų pobūdis realaus dydžio spraustasienės elemente.....	59

TURINYS

IVADAS	11
1. Krantinės iš plieninių spraustasielių konstrukcijos ir jos inkaravimo teorinė analizė	13
1.1 Spraustasielės krantinės samprata ir tipai.....	13
1.1.1 Medinės spraustasielės krantinės konstrukcija.....	16
1.2.1 Gelžbetoninės spraustasielės krantinė konstrukcija.....	19
1.3.1 Plastikinės spraustasielės krantinės konstrukcija.....	21
1.4.1 Plieninės spraustasielės krantinės konstrukcija.....	22
1.2 Skerspjūvio parinkimas plieninės spraustasielės krantinės konstrukcijai įvertinus veikiančias apkrovas.....	27
1.3 Gruntinio inkaro įrengimas.....	38
2. Inkaro įtempimo jėgos poveikio plieninei spraustasieliui analizė	44
2.1 Matematinio modelio sudarymas ir analizavimas.....	46
2.2 Laboratorinis bandymas.....	52
2.3 Realaus dydžio matematinio modelio analizė.....	57
IŠVADOS	61
LITERATŪRA	62

IVADAS

Laivininkystė negali funkcionuoti be kelių elementų, tai vandens keliai, prieplaukos ir krantinės. Vandens keliai – tai visas Lietuvos hidrografinis tinklas, tinkamas laivybai. Tam, kad vandens keliai būtų pritaikyti laivybai, o laivai galėtų prisišvartuoti prie kranto, įrengiamos prieplaukos, tačiau prieplaukų ir krantinių statyba nėra tik hidrotechniniai statiniai, tai kompleksinis statinys, apimantis daugybę statybos objektų.

Taigi krantinės yra vienas iš svarbiausių uosto statinių. Ji sudaro galimybę apriboti vandens telkinio krantą ir sukurti tinkamas sąlygas laivybai. Krantinės skirtomos į gravitacines, poilines ir spraustines. Paprasčiausias ir greičiausias yra įrengiamos spraustinės krantinės. Plieninę spraustinę krantinę sudaro plieniniai spraustasienės elementai, antpolis ir templė arba inkaras.

Plieninės spraustasienės elementai negali pasipriešinti dideliems horizontaliems poveikiams, todėl yra įrengiami inkarai arba templės, kurios padidina krantinės atsparumą. Inkarai arba templės tvirtinami prie spraustasienės elementų paskirstomosios sijos arba plieninių plokštelių pagalba. Magistriniame darbe nagrinėsiu inkaro įtempimo jėgos poveikį spraustasienės elementui kai inkaras tvirtinamas plienine plokštele. Kadangi yra labai mažai atliktų tyrimų apie plieninės spraustasienės įtempius ir deformacijas nuo inkaro įtempimo jėgos, todėl pasirinkta darbo tema yra labai *aktuali* hidrotechninių statinių statybos srityje.

Darbo *problema* – dėl inkaro įtempimo jėgų plieninėje spraustasienėje susidaro didelės įtempių ir deformacijų koncentracijos, kurių nenagrinėja projektavimo normos ir standartai.

Darbo *tema* – plieninės spraustasienės elemento įtempių ir deformacijų nuo inkaro įtempimo jėgos analizė.

Darbo *tikslas* – nustatyti spraustasienėje veikiančių įtempių ir deformacijų priklausomybę nuo plieninės plokštelės matmenų ir veikiančios inkaro įtempimo jėgos.

Darbo *uždaviniai*:

1. Apžvelgti plonasienių spraustasienių krantinių tipus.
2. Išanalizuoti plonasienių spraustasienių krantinių tipų konstrukcines savybes.
3. Nagrinėti skirtingų plieninės spraustasienės krantinės skerspjūvių ypatybes.
4. Įvertinus aplinkos faktorius bei veikiančias apkrovas, išanalizuoti skerspjūvio parinkimo galimybes.
5. Išanalizuoti gruntinio inkaro įrengimą ir išbandymą.

6. Nustatyti sprautasienėje veikiančių įtempių ir deformacijų priklausomybę nuo plieninės plokštelės matmenų ir veikiančios inkaro įtempimo jėgos.
7. Pateikti rekomendacijas plokštelių matmenų parinkimui priklausomai nuo veikiančios įtempimo jėgos.

Darbe taikyti tyrimo *metodai*:

Analitinis – aprašomasis. Analizuojama mokslinė literatūra, straipsniai, reglamentai internetiniai šaltiniai.

Eksperimentinis tyrimas. Sukurtas skaitmeninis modelis imituojantis inkaro įtempimo jėgos poveikį plieninės sprautasienės elementui. Pagal skaitmeninį modelį pagaminti keturi laboratoriniai bandiniai, kurie apkraunami jėga. Skaitmeninio modelio rezultatai palyginami su laboratorinių bandinių rezultatais. Tyrimo eiga, rezultatai bei rekomendacijos pateikiami antrajame darbo skyriuje.

Mokslinį – tiriamąjį darbą sudaro dvi dalys (teorinė ir eksperimentinė), išvados, literatūros sąrašas. Darbe pateikiami 35 paveikslai ir 11 lentelių. Baigiamąjį darbą sudaro 62 puslapiai.

1. KRANTINĖS IŠ PLIENINIŲ SPRAUSTASIENIŲ KONSTRUKCIJOS IR JOS INKARAVIMO TEORINĖ ANALIZĖ

1.1 Spraustasienės krantinės samprata ir tipai

Vandens keliai, prieplaukos ir krantinės yra neatsiejami laivininkystės elementai. Vandens keliai yra itin reikšmingi ne tik Lietuvos ekonomikai, bet ir kulturinei-socialinei raidai. Tačiau tam, kad laivai galėtų tinkamai plaukioti, o laivyba efektyviai funkcionuoti, būtina, kad vandens keliai atitiktų tam tikrus reikalavimus, būtų reikiamų parametų. Kadangi natūralios upių, jūrų, ežerų ir t.t. krantinės retai kada būna tinkamos laivininkystei, o šie statiniai sudaro sąlygas krovininiams ar keleiviniams laivams saugiai prisišvartuoti prie kranto bei vykdyti krovos darbus, todėl statant prieplaukas ir krantines yra įrengiama ir visa infrastruktūra. „Krantinių įrengimas nėra tik jų, kaip hidrotechninių statinių, statyba“ (Katkevičius. L, Baublys R, 2008, 13 p.) Tai yra kompleksinis statinys, galintis susidaryti iš sandėliavimo vietų, krovos mechanizmų, kelių tinklo, krovinų paskirstymo bei keleivių aptarnavimo.

Taigi kaip jau buvo minėta anksčiau, krantinė tai hidrotechninis statinys, apribojantis ežero, jūros, upės ar kito vandens telkinio krantus ir sudarantis sąlygas laivybai. Šie statiniai statomi vandens telkinių pakrantėse norint sustabdyti krantinės ardymą, juos sutvirtinti, suteikti taisyklingą formą, kuri būtų patogi rekreacijai ir ūkinei veiklai. Krantinės, atlaikančios krantų grunto slėgį yra dar vadinamos atraminėmis sienutėmis.

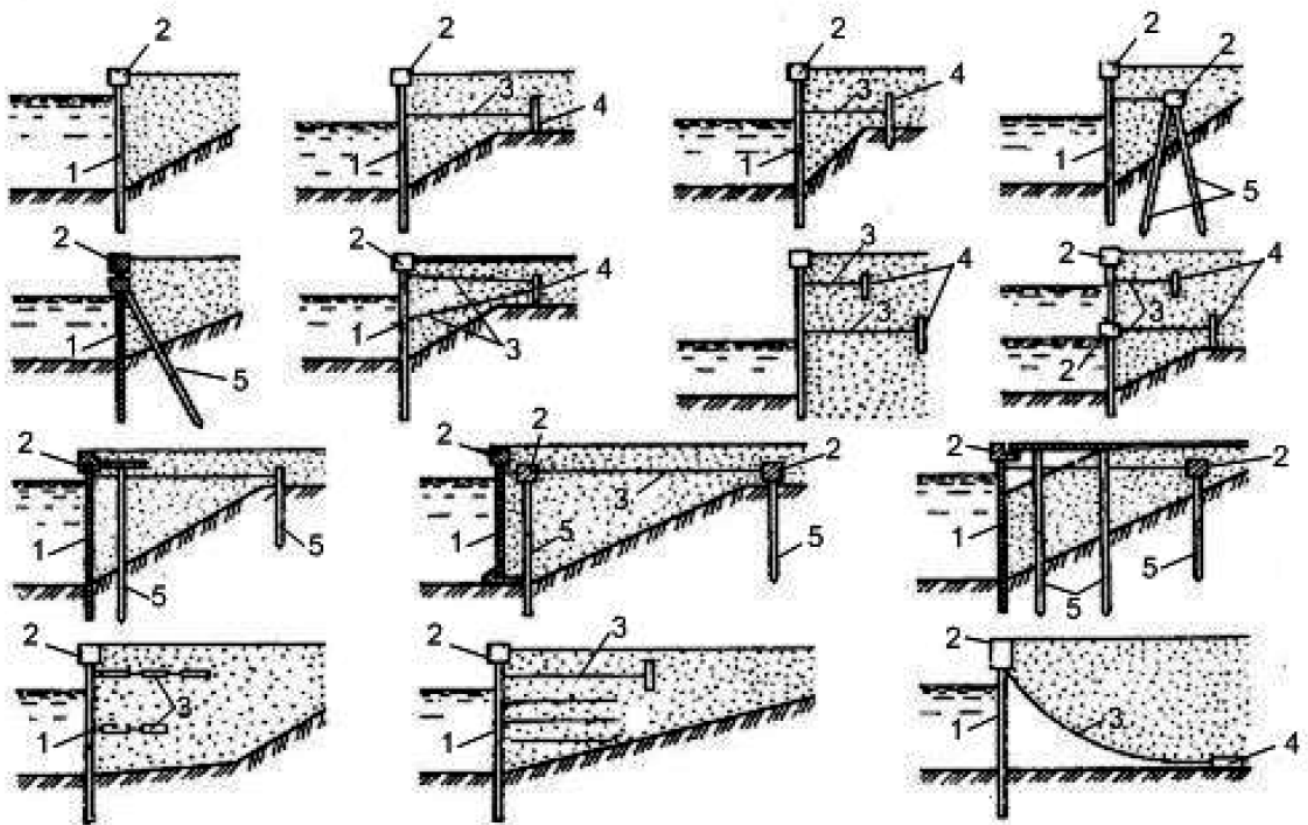
Literatūroje dažniausiai krantinės iš spraustasienių yra skirstomos pagal medžiagiškumą ir pagal įtvirtinimą. Kalbant apie skirstymą pagal įtvirtinimo būdus, galimi du pagrindiniai krantinių tipai- laisvai stovinčias ir inkaruotas krantines.

Pasak G.L. Sivakumar Babu, B. Munwar Basha (2008, 135 p.) laisvai stovinčios spraustasienės naudojamos tada, kai reikalingas nedidelis krantinės aukštis, vyrauja santykinai nedideli vandens gyliai. Krantinėje susidariusį lenkimo momentą nuo veikiančių horizontalių apkrovų atlaiko įgilintame grunte susidarantis pasyvinis grunto slėgis, kurį sukelia gruntas spaudžiamas į spraustasienės priekį per fiksaciją į dugną.

Kadangi laisvai stovinčios spraustasienės negali atlaikyti didelių horizontalių poveikių jos yra inkaruojamos. Inkarai perima dalį horizontalių poveikių ir padidina konstrukcijos atsparį. Inkaravimo metodų ir principų yra daug ir skirtingų (žr. 1 pav.), bet galima išskirti du pagrindinius – inkaravimas teplemės į atraminį statinį arba naudojant gruntinius inkarus. Remiantis uostų statymo principais reikia

vengti povandeninių darbų ir stengtis visus darbus atlikti kuo paprasčiau, todėl inkarus rekomenduojama įrengti virš vandens.

Pirmajame paveiksle matome, kaip spraustinė sienutė (žymuo nr. 1) negali pasipriešinti horizontalių jėgų poveikiams, todėl turi būti sujungta su inkaravimo plokšte (žymuo nr. 4), siena ar uoliniu pagrindu, esančiu už krantinės. Sujungimui naudojama inkaravimo templė/inkaras (žymuo nr. 3). Tokiu atveju įlaidų viršus sutvirtinamas siauru antpoliu (žymuo nr. 2) arba plačiu rostverku (žymuo nr. 2). Atskirais atvejais kai už krantinės nėra tvirto uolinio pagrindo arba kai krantinę veikia itin stiprios jėgos, konstrukcijoje naudojami poliai (žymuo nr. 5).



1 pav. Spraustasienu krautinių tipai

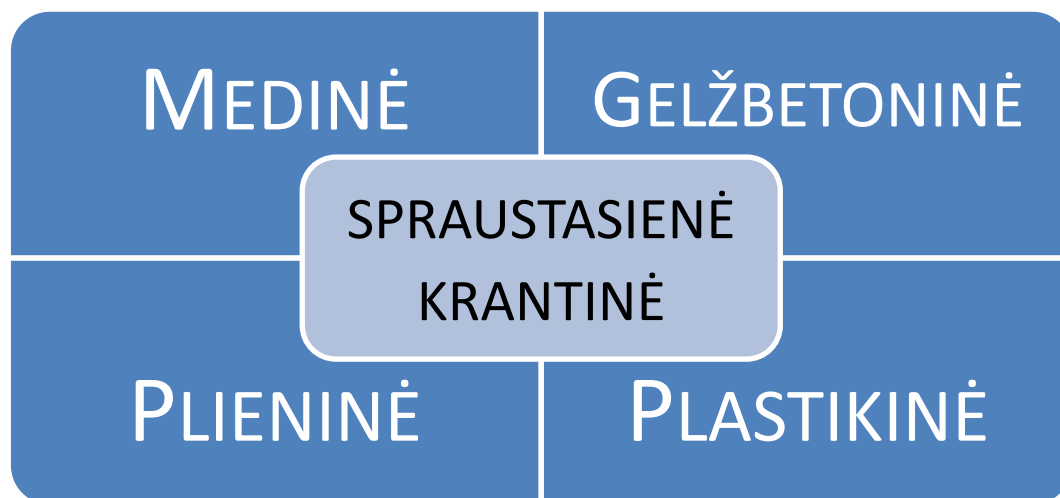
(Šaltinis: Katkevičius.L, Baublys.R. 2008.)

Spraustasienu krautines būtina įtvirtinti į gruntą, kad veikiant apkrovoms ji neprarastų stabilumo. Šio tipo krautinių negalima įrenginėti, kai dugne yra tvirtos uolieninis pagrindas arba esamas pagrindas nėra tinkamas įtvirtinimui. Įlaidinė spraustasienu yra ekonomiškai geras pasirinkimas tuomet, kai vandens gylis yra vidutinis ir grunto sudėtis tinkama. Tuomet spraustasienu elementai gilinami iki atitinkamo gylio vienas paskui kitą. Veikiančios horizontalios jėgos yra perduodamos per inkaravimo strypus į kranto atramines plokštes. Priklausomai nuo grunto sudėties, gilimo įrangos bei

numatomos krantinės apkrovos, įprastas spraustasienės krantinės su inkaravimo sistema aukštis gali siekti nuo 7 iki 10 m. Krantinės apkrova perduodama gruntui už konstrukcijos išorinėmis sijomis, atraminėmis sijomis ir į pačią sienutę. Horizontalios apkrovos išilgine kryptimi nuo trinties tarp besišvartuojančio laivo ir atraminių sijų yra perimamos pačių įlaidinių polių.

Maksimalios horizontalios apkrovos į sienutę pasireiškia tuomet, kai nusistovi ypatingai žemas vandens lygis ir pakyla gruntinio vandens lygis už sienutės bei prisideda krantinės dinaminės apkrovos. Žemas vandens lygis prieš krantinę dėl atoslūgio, vėjo, oro slėgio yra neišvengiamas, tačiau didelis hidrostatinis slėgis už sienutės gali būti panaikintas naudojant stambiagrūdžius užpildus su specialia drenažo sistema (Katkevičius L, Baublys R, 2008, 23 p). Sienutė užbaigiama ant jos viršaus uždedant plieninę ar gelžbetoninę siją. Krantinėms inkaruoti naudojami skirtingi metodai ir principai, tačiau Katkevičius L., Baublys r. (2008, 23 p.) rekomenduoja inkaravimo darbus atlikti kiek įmanoma paprastesniu būdu, vengti povandeninių darbų.

Spraustasienės krantinės konstrukciniu požiūriu yra paprasčiausias krantinių tipas. Spraustasienės krantinės dažniausiai naudojamos priplaukoms įrengti, sustabdyti vandens telkinių krantų eroziją bei juos sustiprinti. Šio tipo krantinės yra sudarytos iš išilgai ir betarpiškai sujungtų elementų, kurie įspraudžiami į gruntą, kad atlaikytų horizontalių jėgų poveikį. Klasifikuojama kaip itin lanksti atraminė sistema, galinti atlaikyti sąlyginai dideles deformacijas. Remiantis L. Eskadri, B. Kalantari, (2011, 1537 p.) analizuojant spraustasienes krantines pagal medžiagiškumą, jas galima suskirstyti į keturias pagrindines grupes (2 pav.).



2 pav. Spraustasienės krantinės skirstymas pagal medžiagiškumą
(Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis literatūrinių šaltinių analize)

Prieš platesnį plieninės spraustasienės konstrukcijos nagrinėjimą, apžvelgsiu visas keturias pagrindines spraustasienės krantinės grupes. Anksčiau buvo plačiausiai naudojami mediniai ir armuoto betono spraustasienės sienutės elementai. Keičiantis technologijoms ir didėjant poreikiams mediniai spraustasienės sienutės elementai naudojami itin retai, plastikiniai bei armuoto betono elementai dažniau sutinkami mažose konstrukcijose, o plačiausiai naudojami plieniniai spraustasienės sienutės elementai.

1.1.1 Medinės spraustasienės krantinės konstrukcija

Hidrotechniniams statiniams medinės konstrukcijos yra naudojamas jau šimtus metų. Medinės spraustasienės turi privalumų lyginant su kitokių medžiagų spraustasienėmis. Jas lengva atnaujinti ir jos neteršia aplinkos, lengva dirbti ir keisti bei pataisyti, turi didelį atsparumą staigioms dinaminėms apkrovoms.

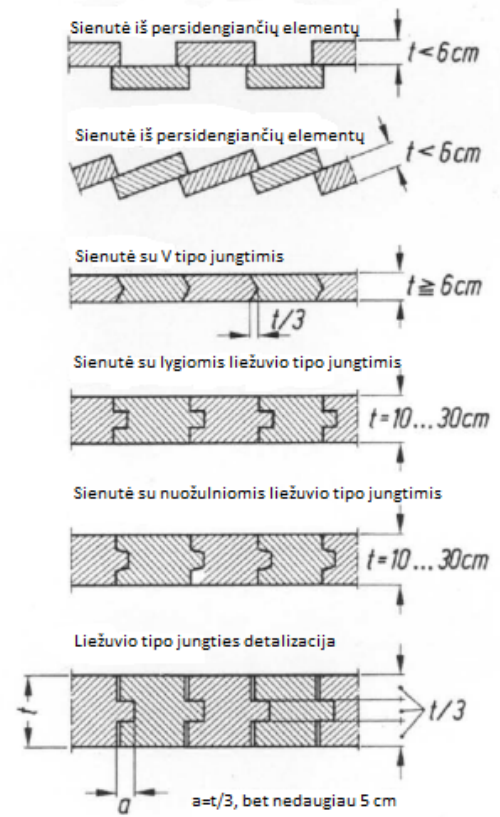
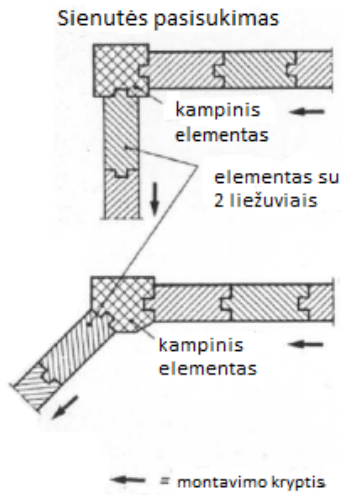
Medinės spraustasienės pasižymi geromis vandens nepralaidumo savybėmis, nes mediena vandenyje išbrinksta ir pasinaikina visi tarpeliai. Jaigu atsiranda plyšiai, kurių užpildyti medienos brinkimas negali, laikinai galima panaudoti vandeniui nelaidžias drobes. Ilgalaikiam remontui naudojamos medinės lentos, kurios mechaniškai pritvirtinamos prie spraustasienės.

Medinės spraustasienės dažniausiai naudojamos ten, kur veikia cheminis poveikis, kuris pavojingas plieninės ir gelžbetoninėms spraustasienėms.

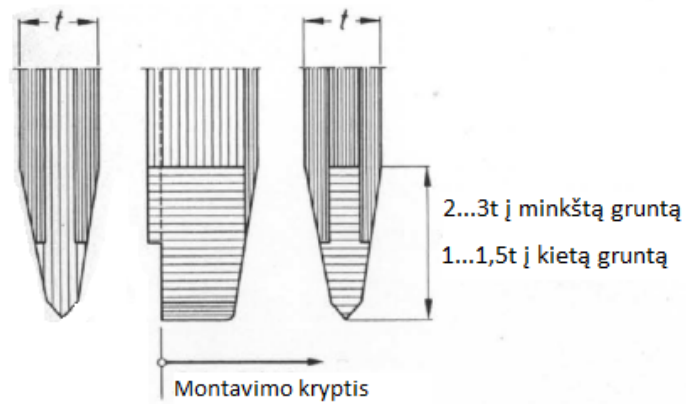
Medinės spraustasienės dažniausiai daromos iš labai sąkingos – dervingos pušies ir eglės medienos. Naudojami 6-30cm storio, 25cm pločio ir iki 15m ilgio elementai (3 pav). Spraustasienės elementai iki 9cm storio turi tik V tipo jungtis, storesni elementai turi liežuvio tipo jungtis. Liežuvis yra daromos keliais milimetrais didesnis nei kitame elemente esanti anga, kad kalant geriau susijungtų.

Jeigu sienutė turi būti pasukta, būtina naudoti kampinius elementus, jie daromi iš kvadratinio skerspjūvio su angomis iš dviejų pusių. Spraustasienių elementų galai nusmailinami priklausomai nuo grunto į kurį kalama. Kalant į minkštą gruntą nusmailinamas galo ilgis 2-3 elemento storiai, kai kietas gruntas 1-1,5 elemento storiai. Kuo kietesnis gruntas tuo nusmailinimas daromas bukesnis, kad kalant nesutrukinėtų mediena, elementų viršus apkaustomas 20mm storio plieno lakštais.

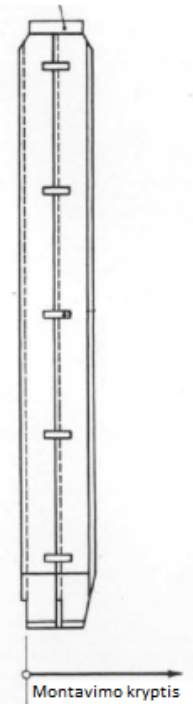
a) Skerspjūvis



b) Elemento galo nusmailinimas



elemento apkaustymas
plieniniais lakštais



3 pav. Medinių sprastasienu elementų charakteristikos

(Šaltinis: Recommendations of the Committee for waterfront Structures harbours and waterways EAU 1990.)

Pagal Crossman M., Simm J. (2004, 41 p.) didžiausia įtaką medinės spraustasienės tarnavimo laikui daro:

Biologinis poveikis. Tai įvairūs grybai, kurie minta medienos ląsteles sudarančiomis medžiagomis. Dauguma grybo rūšių ardo medieną, paverčia ją trūnėsiomis. Pūvanti mediena pavirsta lengvai vandenyje tirpstančia medžiaga, kurioje grybeliai toliau vystosi ir auga. Keičiasi jos savybės ir išvaizda: mediena suglemba, pasidaro puri. Ne mažiau medienai kenkia joje gyvenantys vabzdžiai-parazitai. Iš tokių vabzdžių dažniausiai pasitaiko kirmgrauža, arba kinivarpa: šis vabzdys ir jo vikšrai išvarpo medieną įvairaus gylio kanalėliais ir taip ją sugadina.

Mechaninis poveikis. Tai spraustasienę veikiančios apkrovos: laivų švartavimasis, bangų mūša.

Naudojamų medžiagų ilgaamžiškumas ir kokybė. Medienos ilgaamžiškumą nulemia ne tik klimatiniai veiksniai, bet ir medienos mechaninės savybės: atsparumas gniuždymui, tempimui, statiniam lenkimui, šlyčiai, dilimui, ilgalaikis atsparumas ir nuovargis, deformatyvumas. Nuo kompleksinio medienos mechaninių, fizikinių savybių ir aplinkos veiksnių poveikio priklauso medinių konstrukcijų ilgaamžiškumas ir tarnavimo laikas.

Periodiška konstrukcijų apžiūra ir savalaikis trūkumų šalinimas. Medinių konstrukcijų priežiūra turi būti itin kruopšti ir reguliari. Priklausomai nuo galimų aplinkos poveikių, mediena yra linkusi keisti savo fizikines savybes. Laiku neįvertinus ir nelokalizavus pažeistų konstrukcinių elementų ar jų vietų, gali būti padaryta nepataisoma žala visai konstrukcijai. Tai gali sąlygoti ne tik didesnes finansines sąnaudas, bet ir sukelti ilgalaikį krantinės eksploatacijos sutrikdymą.

Siekiant apsaugoti medieną nuo veikiančių žalojančių poveikių naudojamas impregnnavimas arba apdorojimas aukštu slėgiu su konservantais. Šios saugančios priemonės naudojamos siekiant padidinti medienos atsparumą biologiniams poveikiams. Pagal Crossman M., Simm J. (2004, 48 p.) galima išskirti 3 pagrindinius medienos konservavimo būdus:

Konservavimas naudojant vandens pagrindo priemones, kurių įsigėrimas skatinamas aukštu slėgiu. Šio tipo konservantai dažniausiai būna chromo, vario ir arseno pagrindu. Veikimas aukštu slėgiu leidžia šiems medžiagoms maksimaliai sverbtis gilyn į medieną ir susijungti su medienos ląstelėmis.

Konservavimas tirpiklio ir vandens pagrindo konservantais, kurių įsigėrimas skatinamas žemu slėgiu. Šio tipo konservantai veikiama vakuuma susijungia su medienos ląstelėmis.

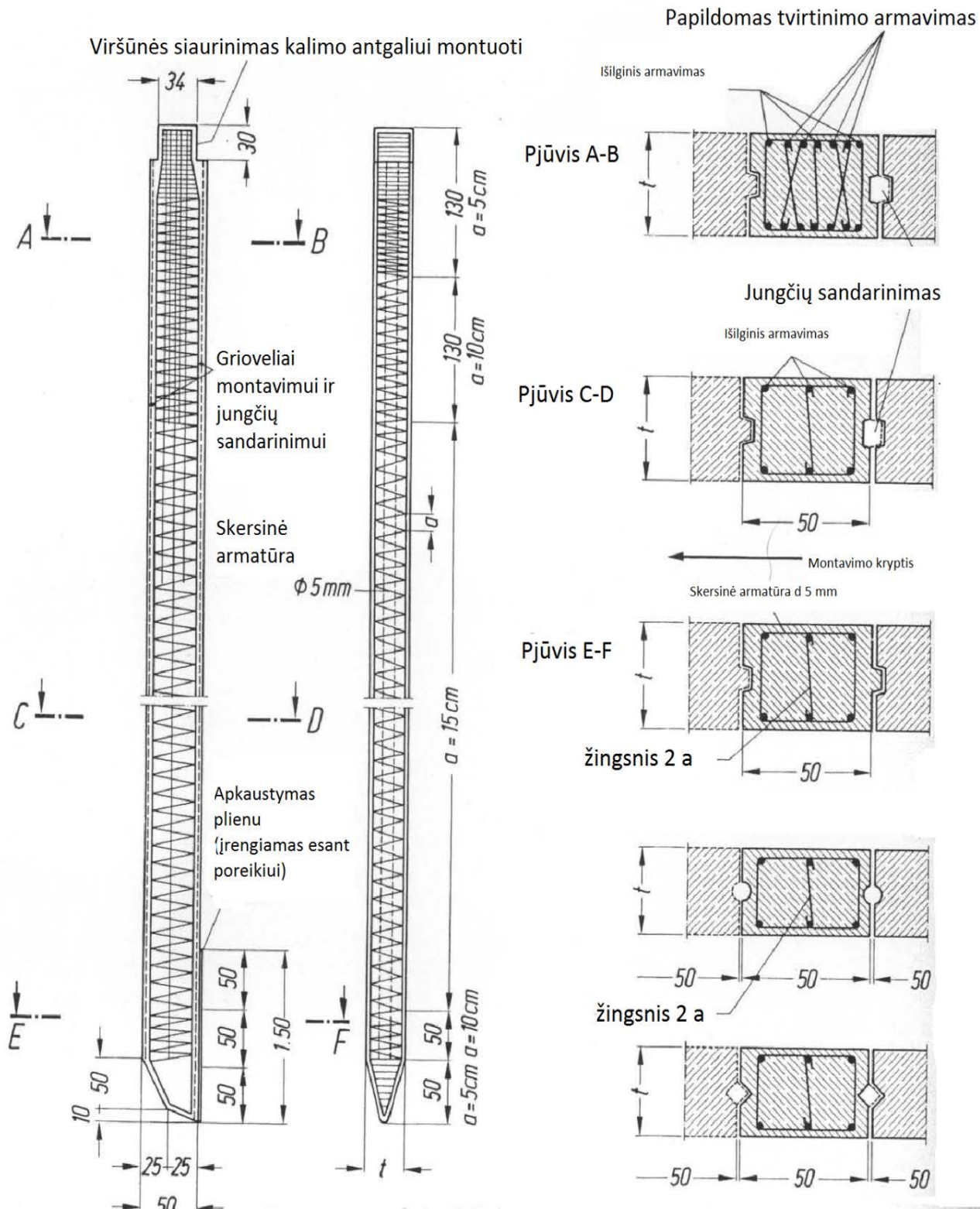
Deguto – alyvos pagrindo konservantai. Mediena gali būti apsaugoma, mirkant ją ar dažant deguto - alyvos pagrindo priemonėmis. Tačiau šis būdas turi nemažai minusų dėl nepakankamai gilaus

poveikio medienai. Kadangi taip apdorojamas tik medienos viršus, dėl to esant intensyviai sąlyčiai su vandeniu, deguto - alyvos konservantai sąlyginai greitai nusiplauna, taip teršdami aplinką ir mažindami medienos atsparumą aplinkos poveikiui.

1.2.1 Gelžbetoninės spraustasienė krantinė konstrukcija

Gelžbetonines spraustasienes galima naudoti tik tada, kai yra užtikrinamas jų sukalmis nepažeidžiant elementų ir galima suformuoti standžias jungtis. Jų negalima naudoti konstrukcijose, kuriose keliami aukšti vandens nelaidumo reikalavimai. Remiantis pasaulinio komiteto atsakingo už vandens kelių infrastruktūros gerinimą rekomendacijomis (1992, 307 p.), spraustasienė privalo būti pagaminta iš stipraus ir tankaus betono, ne žemesnės klasės kaip C35/45. Betono mišinys privalo būti pagamintas naudojant stiprius užpildus. Cemento vandens santykis turi būti 0,45-0,48. Spraustasienė gali būti armuojama armatūros karkasias arba lynais. Mažiausias apsauginis sluoksnis turi būti 5cm.

Gelžbetoninės spraustasienės storis turi būti ne mažesnis kaip 14 cm ir ne didesnis nei 40 cm. Elementai daromi 50cm pločio. Storis ir armavimas parenkamas atliekant skaičiavimus. Nepatartina naudoti ilgesnius nei 15m ilgio elementus. Spraustasienės elementai jungiami tarpusavyje per griovelius (4 pav.) Griovelių plotis turi būti iki 1/3 elemto storio, bet ne didesnis nei 10 cm. Griovelių gylis dėl armavimo negali būti gilesnis nei 5cm. Grioveliai gali būti trapecijos, trikampio ar pusės sferos formos. Pusės sferos formos grioveliai naudojami plonose spraustasienėse. Jei jungiami elementai, kurių abiejuose galuose formuojami grioveliai, į tarpus yra dedama armatūra ir jie užmonolitunami smulkiagrūdžiu betonu. Elemento galai yra nusmailinami, nusmailinimo ilgis 50 cm. Elemento viršuje įrengiami susiaurėjimai, kad ant viršaus būtų galiam sumontuoti galveną, per kurią elementas bus įspraustas. Galvena naudojama, siekiant apsaugoti elementą nuo pažeidimų spraudžiant.



4 pav. Gelžbetoninės spraustasienės elemento charakteristikos

(Šaltinis: Recommendations of the Committee for waterfront Structures harbours and waterways EAU 1990.)

Walraven J. C. Straipsnyje (2009) plačiai analizuojamas naujas gelžbetoninių spraustasielių tipas HPFRC (5 pav).



5 pav. HPFRC tipo gelžbetoninės spraustasielės elementai

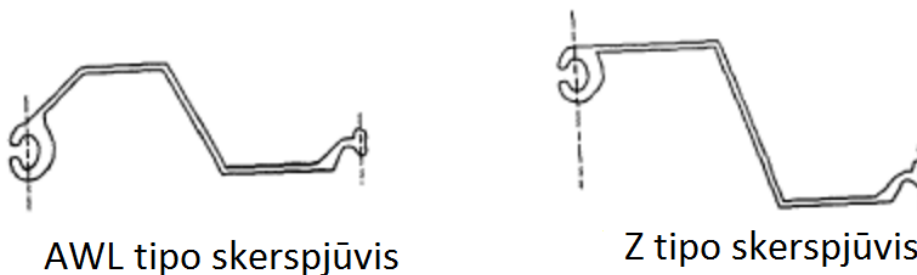
(Šaltinis. Walraven J. C. 2009.)

Šio tipo sienutės storis tik 45mm. Elemente naudojamas aukštos klasės betonas apie 120Mpa stiprumo. Armuojama įtemptais lynais ir metaliniais fibros plaušais. Lyginant su įprastais elementais, reikalingas betono kiekis sumažėja vienu trečdaliu. Armavimas metalinėmis fibromis naudingas elemento galuose, kur susidaro dideli tempimo įtempiai įtemptiant lynus. Kadangi elementas nėra sunkus, jį transportuoti ir įrengti nėra reikalinga sunkiasvorė technika. Dėl metalinių fibrų elementas yra atspresnis deformacijoms kalant, todėl padidėja panaudojimo sritis.

1.3.1 Plastikinės spraustasielė krantinės konstrukcija

Plastikinės spraustasielės yra sąlyginai naujas spraustasielių tipas, kuris gali būti panaudojamas krantinių ar kitų hidrotechninių statinių statyboje. Plastikinės spraustasielės gaminamos nepertraukiamo išspaudimo būdu. Gaminant šiuo metodu plastikas yra išlydomas ir spaudžiamas per matricą, kad igytų reikiamą formą. Elementui atšalus jis supjaustomas į reikiamo ilgio dalis.

Plastikinės spraustasielės gali būti įvairių formų, bet populiariausia yra Z ir AWL tipo skerspjūvio forma (6 pav.).



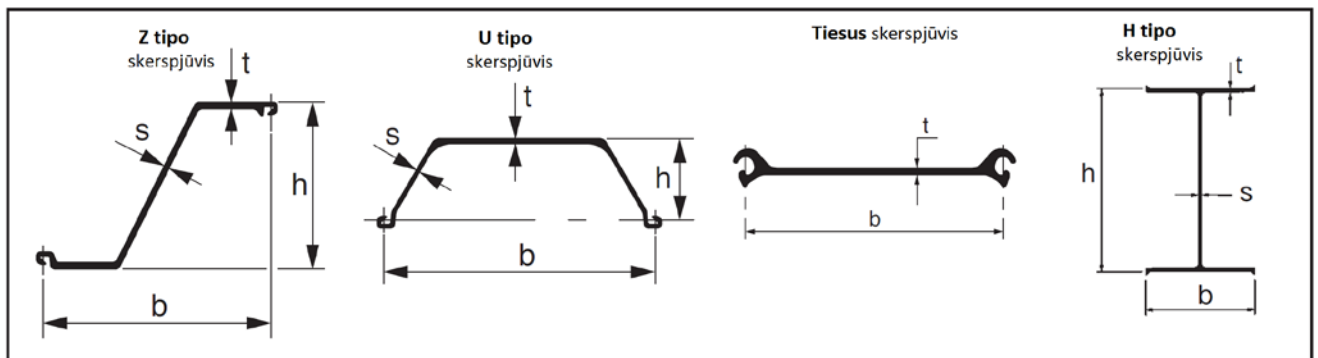
6 pav. Z ir AWL tipo skerspjūviai

Elementai galuose turi berniukas-mergaitė tipo susirakinimo mechanizmui paruoštas jungtis. Šios jungtys yra pritaikytos jungimui su kitais plastikiniais elementais. Plastikinės spraustasienės gaminamos iš modifikuoto polivinilchlorido (PVC). PVC yra tinkama jūrinėms konstrukcijoms, nes yra atspari korozijai ir bakteriniams poveikiams. Plastikinės spraustasienės turi nedidelį tamprumo modulį ir nedidelį atsparį lenkimo momentui. Šios savybės apriboja tokio tipo spraustasienių panaudojimą.

1.4.1 Plieninės spraustasienė krantinės konstrukcija

Krantinė iš plieninių spraustasienių – tai konstrukcija sudaryta iš ilgų plieninių bei vertikaliai susijungiančių elementų, kurie sudaro tolygią sieną. Tokio tipo sienos dažniausiai naudojamos sulaikyti vandens arba grunto judėjimą. Kaip spraustasienės elementas atlaikys įvairių jėgų poveikį, priklauso ne tik nuo grunto, į kurį jis montuojamas, bet ir nuo skerspjuvio charakteristikos. Plieninės spraustasienės gali būti iki 31m ilgio, o H tipo iki 33 m. Pagal Katkevičių L., Baublys R. (2008, 23 p.) plieninės įlaidos skiriamos į tris profilio tipus:

- U tipo laidiniai poliai, kur sujungimai išdėstyti profilio neutralioje ašyje, pavyzdžiui Larseno profilis. Profilio charakteristikos – gera prieškorozinė apsauga dėl didžiausio plieno storio išorinėje profilio dalyje ir lengvo inkaravimo elementų pritaikymo;
- Z tipo profilis, kur sujungimas yra profilio flange, kaip Krupp, Hoesh, Arcelor, Peiner profiliai. Pagrindinis Z tipo profilio požymis yra besitęsianti forma ir specifinis simetrinis išdėstymas sujungimų neutralios ašies abiejose pusėse;
- H tipo, dėžiniai ir vamzdiniai, kurie taip pat turi sujungimus.



7 pav. Plieninių spraustasienių tipai

(Šaltinis: Arcelor Mittal piling handbook 8th edition, p. 9)

Visi prieš tai paminėti profiliai gaminami skirtingų dydžių, pločių, svorio ir atsparumo. Taip pat pereinant iš vieno profilio į kitą, naudojami specialūs tiesūs elementai. Dėl plieninių spraustasienės elementų svorio, lyginant su betono, pasiprešinimo momentas pagerėja. Elementai sujungiami

tarpusavyje į besitęsiančią sienutę, juos suvirinant arba į kombinuotąją sieną įterpiant tradicinius elementus U arba Z. Tokia sprautasienės elementų siena lyginant su tradicine padidina atsparumą vertikalioms ir horizontalioms apkrovoms. Didžiausias plieninės sprautasienės krantinės pranašumas yra tas, kad ji gali būti įgilinti į sunkaus tipo gruntą.

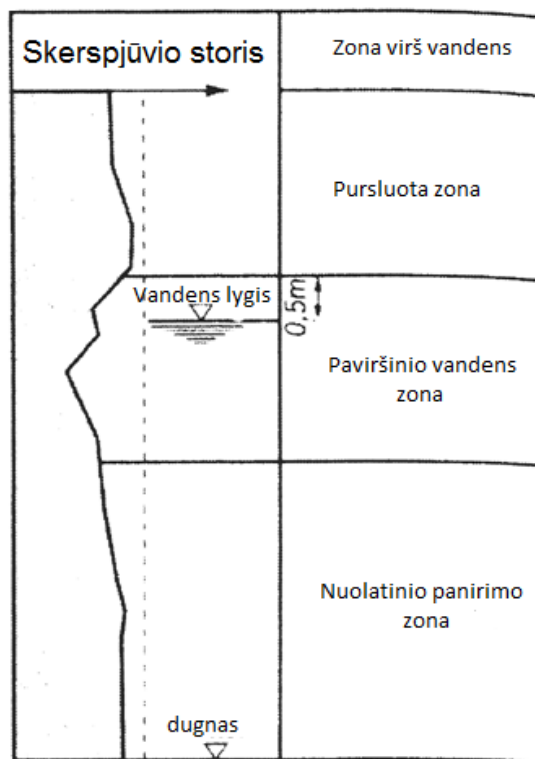
Byfield M.P., Mawer R. W. (2004, 403 p.) teigia, kad jungiant per spynas, atskiri elementai suformuoja vientisą sieną. U tipo elementai (žr. 7 pav.) spynas turi neutralioje ašyje ir sutampa su didžiausiais šlyties įtempiais, todėl norint padidinti sienutės laikomąją galia būtina jungtis suvirinti. Suvirinus jungtis gali padidinti atsparumą lenkimo momentui iki 3 kartų lyginant su vieno elemento laikomąją galia. Siekiant padaryti sienutę vandeniui nelaidžią, spynos užpildomos įvairiomis sintetinėmis hidroizoliacinėmis medžiagomis. Suvirinus spynas pasiekiamas visiškas sandarumas vandeniui, bet kadangi negalima suvirinti visos sienos, tai atskiri elementai jungiami grupėmis ir kalami, o jungtys tarp jų užpildomos hidroizoliacinėmis medžiagomis.

Didžiausią įtaka krantinės naudojimo laikotarpiui daro metalo korozija. Metalų korozija vyksta metalui reaguojant su deguonimi, kai susidaro geležies oksidas, kuris susilpnina skerspjuvio charakteristikas. Blogėjant skerspjuvio charakteristikoms sienutė praranda savo stiprumą, todėl tai būtina įvertinti projektuojant krantines.

Kaip įvairūs aplinkos veiksniai veikia plieninės sienutės konstrukcijas, plačiai aprašoma knygoje "Arcelor Mittal piling handbook 8th edition" (2008, 73 p.) Tiriama kaip efektyviai prailginti sienutės tarnavimo laikotarpį, parenkant atitinkamą skerspjuvį bei įvertinant papildomų apsauginių priemonių būtinybę, pirmiausia reikia iširti kaip korozija veikia plieną jo natūralioje būsenoje skirtingose aplinkos terpėse. Praktikoje dažnai pasitaiko, kad plieninės sienutės skirtingos pusės turi sąlytį su skirtingomis aplinkos terpėmis ir tam, kad būtų sukurta maksimali apsauga, reikalingi itin intensyvūs tyrimai.

Nagrinėjant jūrinės konstrukcijas būtina išskirti skirtingai vandens veikiamas zonas. Arčiau jūros dugno lygio esančios sienutės dalis korozija veikia minimaliai – 0,012 mm per metus. Nuolatinio panirimo zonoje, kur sienutė yra veikiamą neužteršto vandens bei paviršius gan greitai padengia jūrinės floros sluoksnis, korozija taip pat nėra didelė. Potvynių vandens zonoje arba paviršinio vandens lygyje korozijos mastas yra pats didžiausias, nes sienutės konstrukciją veikiantys faktoriai labai greitai kinta, šiame lygyje paviršiai būna mažai pasidengę flora. Kylant aukščiau, korozijos lygis šiek tiek sumažėja, paviršiai yra veikiami oro sąlygų bei sūraus vandens purlų, šiame lygyje nėra jokios augmenijos, todėl reikia reguliariai tikrinti korozijos padarytą žalą. (Arcelor Mittal piling handbook 8th edition, (2008, 74 p.)

Mokliškai įrodyta, kad greičiausiai koroduoja krantinės dalis, kuri yra veikiamas vandens pusrų ir atmosferos. Pavyzdžiui, 8 pav. pateikiamas Baltijos jūroje esančios krantinės korozijos pasiskirstymas. Matome, kad ties vandens paviršiumi, kuris nuolatos banguoja, o vandens lygis kinta, tai atidengdamas, tai paslėpdamas sienutės paviršių, susidaro geriausios sąlygos korozijai vystytis ir silpninti konstrukcijos elementus.



8 pav. Korozijos veikiamas plieninės sprastasiinės elementas

(Šaltinis: Recommendations of the Committee for waterfront Structures harbours and waterways EAU 1990.)

Taigi konstruojant krantinę iš plieninių sprastasiinės elementų būtina projektuoti taip, kad maksimalūs lenkimo momentai neatsirastų korozijai neatspariausiose vietose. Taip pat galima siekti prailginti krantinės naudojimo laiką apie 20 metų, padengiant elementus apsaugine danga.

Jeigu knygoje Arcelor Mittal piling handbook 8th edition, (2008, 74 p.) nagrinėjama kaip korozijos veikiamoje sienutėje kinta skerspjūvio charakteristikos ir mažėja atsparumas išoriniams ir vidiniams poveikiams, tai Day R. W. (1999, 85 p.) tiria gruntinio vandens slėgio poveikį skirtingais atvejais: kai vandens lygis iš abiejų sienutės pusių yra vienodas ir kai vienoje pusėje jis yra mažesnis.

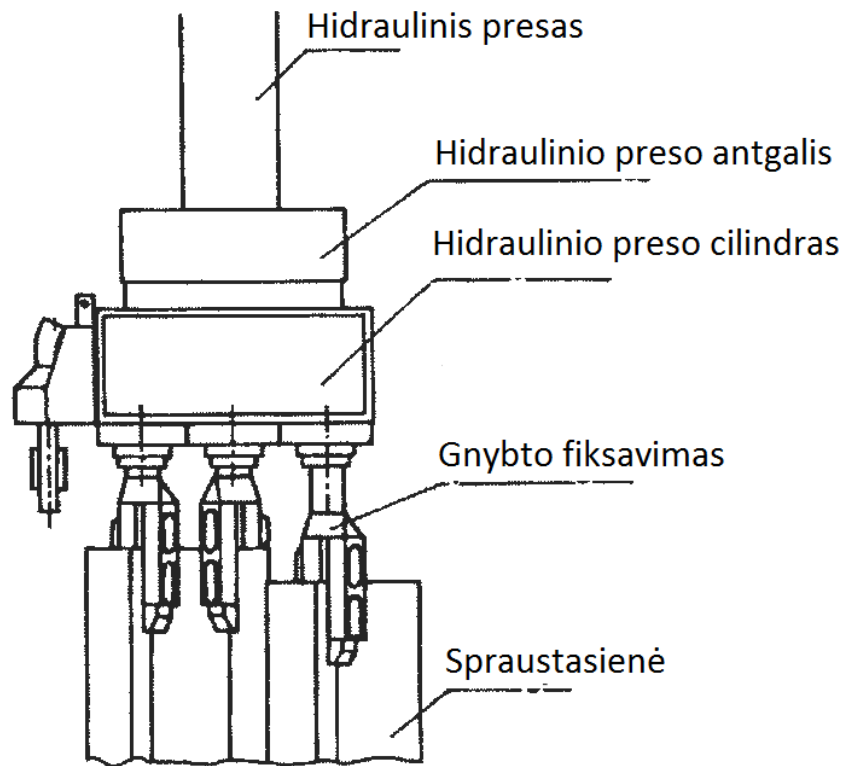
Plieninių sprastasiinių įgilinimas

Plieninės sprastasiinės Z ir U formos elementai įgilinami visada poromis. Pavieniui elementus gilinti vengiama, o trijų ar keturių elementų gilinimas vienu kartu ne visada yra techniškai ir ekonomiškai pranašesnis.

Spraustasienių montavimo būdai išsamiausiai apibūdinami “Sheet piling handbook design“ knygoje (2008, 13 p.):

Pirmas plieninės sprausstasienės įgilinimo būdas yra kai sienutės elementai yra įstatomi į prieš tai iškastas tranšėjas. Pirmiausia iškasamos tranšėjos arba duobės, į kurias įstatomi elementai ir jie užpilami gruntu. Reikalui esant elementai gali būti įgilinti iki maksimalaus jų gylio. Šis metodas tinka visiems gruntų tipams.

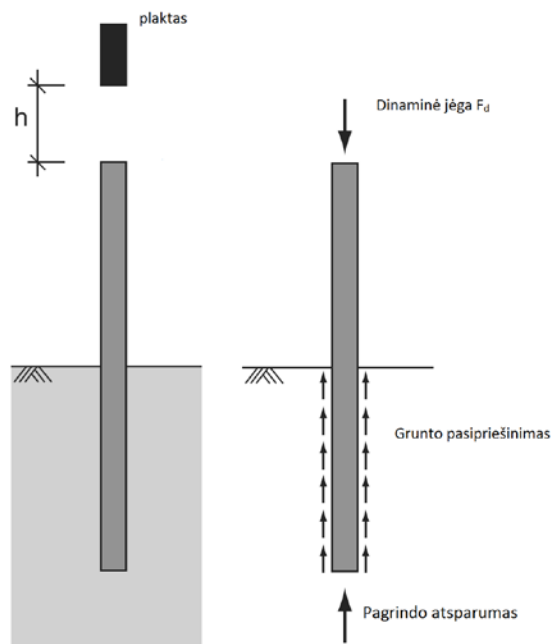
Antru būdu plieninės sprausstasienės elementai yra įspraudžiami, tai yra naudojant hidraulini presą elementai įspraudžiami tiesiog į gruntą (9 pav.). Šis metodas naudojamas, kai negalima sukelti didelio garso ir vibracijų, kai aplinkui yra statinių, kuriems vibracijos gali sukelti jų suirimą.



9 pav. Plieninės sprausstasienės įgilinimas įspraudimo būdu

(Šaltinis: ThyssenKrupp GfT Bautechnik. Sheet piling handbook.)

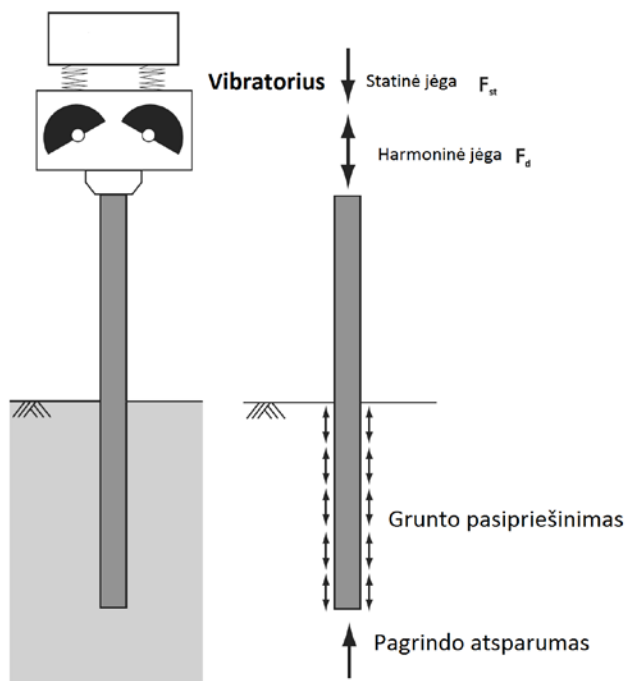
Trečias įgilinimo būdas (10 pav.) yra kuomet elementai įkalami panaudojant sunkiasvorę techniką, kuri smūgiuodama kala elementą vis gilyn į gruntą. Tarp kalto ir elemento naudojamos tarpinės, kad nepažeistų elemento. Gilinama lėtai krintančiu plaktu, dyzeliniu, hidrauliniu ar greitaeigiu plaktu. Įgilinimo efektyvumas didėja, kai plakto svoris didėja lyginant su gilinamo elemento svoriu. Laisvai krentantys, hidrauliniai pavieniais smūgiais veikiančių plaktų svorio santykis su gilinamo elemento svoriu yra 1:1. Greitai smūgiuojančio plakto santykis 1:4. Lėtai smūgiuojantis sunkus plaktas rekomenduojamas rišliems gruntams, o nerišliems – greitai smūgiuojantis plaktas.



10 pav. Plieninės sprastasienės įgilinimas įkalimo būdu

(Šaltinis: ThyssenKrupp GfT Bautechnik. Sheet piling handbook.)

Ketvirtas plieninės sprastasienės įgilinimo būdas yra jos elementus įvibruoti į gruntą (11 pav.). Šis metodas pagrįstas harmoniniu elemento vibravimu, kuris sumažina grunto pasipriešinimą elemento skverbimuisi.



11 pav. Plieninės sprastasienės element įgilinimas vibruojant

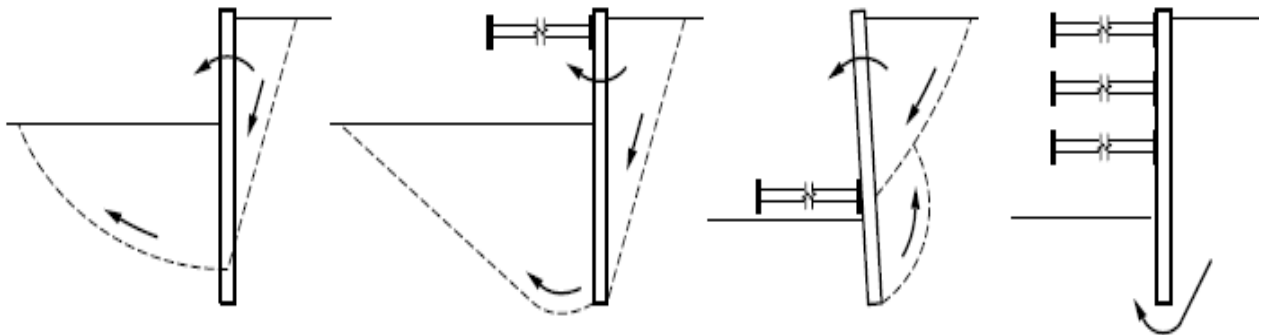
(Šaltinis: ThyssenKrupp GfT Bautechnik. Sheet piling handbook.)

1.2 Skerspjūvio parinkimas plieninės spraustasienės krantinės konstrukcijai įvertinus veikiančias apkrovas

Atraminiai statiniai įrengiami gruntui, uolienai, užpilui ar vandeniui atlaikyti. Atraminiais statiniais laikomos visų tipų sienos ir atraminės sistemos, kurių konstrukciniai elementai turi atlaikyti sulaikomosios medžiagos poveikius.

Kai projektuojamos spraustasienės, reikėtų patikrinti šiuos du pagrindinius suirimo atvejus:

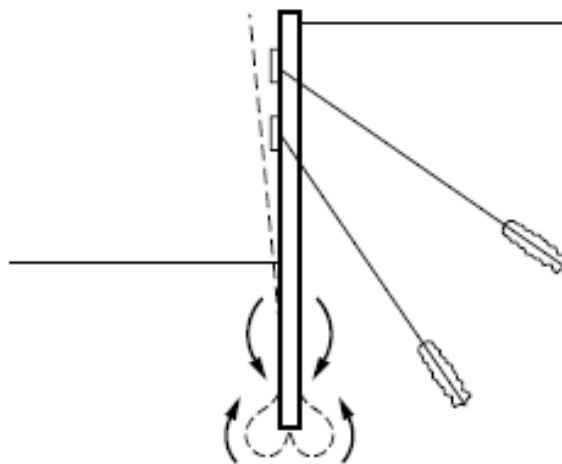
1. irimas dėl sienos ar jos dalies pasisukimo ir slinkimo (12 pav.);



12 pav. Įgilintų atraminių sienų irimas dėl pasisukimo ir slinkimo

(Šaltinis: Sližytė D., Medzvieckas J., Mackevičius R. 2012.)

2. irimas dėl vertikaliosios pusiausvyros netekties. Jeigu siena gali pajudėti vertikaliai žemyn, skaičiuojant reikia imti didžiausiąsias skaičiuotines išankstinio įtempio jėgų vertes, pavyzdžiui, inkarų įveržimą, jei tos jėgos turi žemyn nukreiptą komponentę (13 pav.).

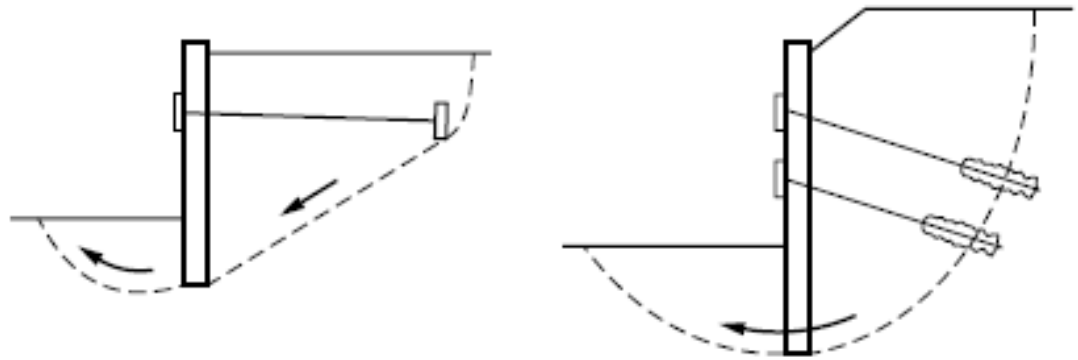


13 pav. Įgilintų sienų irimas dėl vertikaliosios pusiausvyros netekties

(Šaltinis: Sližytė D., Medzvieckas J., Mackevičius R. 2012.)

Projektuojant visų rūšių atraminius statinius turi būti atsižvelgta ir įvertinta:

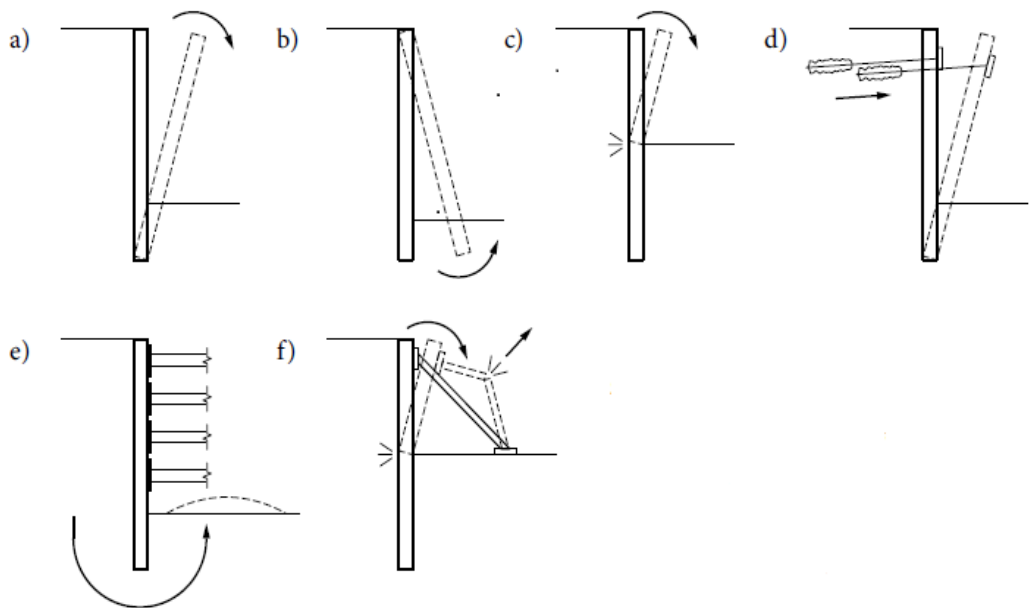
- visuminio stabilumo praradimas (14 pav.);



14 pav. Suirimas dėl visuminio stabilumo netekties

(Šaltinis: Sližytė D., Medzvieckas J., Mackevičius R. 2012.)

- konstrukcinių elementų, tokių kaip siena, inkaras, atrama, statramsčių spyriai, irimas arba šių elementų jungčių irimas (15 pav.). Atraminių statinių, įskaitant ir kartu dirbančius konstrukcinius elementus, stipris turi būti patikrintas laikantis gelžbetoninių, plieninių, medinių bei plastikinių konstrukcijų projektavimo normų nurodymų;



15 pav. Konstrukcinių elementų ir pagrindo irimas

a,b – įtvirtinto galo pasisukimas; c – atraminės sienos suirimas dėl per didelio lenkimo momento; d – inkaro ištraukimas; e – hidraulinis grunto suirimas; f – išramstymo suirimas

(Šaltinis: Sližytė D., Medzvieckas J., Mackevičius R. 2012.)

- pagrindo ir kartu konstrukcinio elemento irimas;
- irimas dėl hidraulinio iškilojimo ir išgraužų;
- atraminio statinio judėjimai, galintys sukelti jo griuvimą arba turėti įtakos tiek jam, tiek greta esantiems ir nuo atraminio statinio priklausomiems statiniams ar komunikacijoms;
- nepageidautinas vandens sunkimasis per sieną ar iš po jos;
- nepageidautinas grunto dalelių plovimas per sieną ar iš po jos;
- nepageidautinas gruntinio vandens režimo keitimasis.

Projektuojami atraminiai statiniai turi būti tikrinami ribinio saugos būvio atžvilgiu skaičiuotinėms situacijoms, kurioms būdingas tas būvis. Skaičiavimai, atsižvelgiant į ribinius saugos būvius, turi parodyti, kad, įvertinus skaičiuotinius poveikius ar poveikių efektus ir skaičiuotinį atsparumą, pasiekama pusiausvyra. Skaičiuojant atraminius statinius, galima taikyti tokius skaičiavimo metodus, kurie leistų perskirstyti grunto slėgį, atsižvelgiant į pagrindo ir konstrukcinių elementų santykinius poslinkius ir standumus. Kai atraminis statinys įrengiamas smulkiagrūdžiame grunte, turi būti apsvarstyta tiek ilgalaikė, tiek trumpalaikė konstrukcijos elgsena. Tikrinant atraminių sienos saugos ribinį būvį EQU (statinio pusiausvyros ribinis būvis), turi būti taikomas projektavimo atvejis: $A1 + M1 + R2$. Tikrinant atraminių sienų saugos ribinį būvį STR (ribinis būvis dėl konstrukcijos elementų suirimo) ir GEO (ribinis būvis dėl grunto suirimo), turi būti taikomi projektavimo atvejai: $A1 + M1 + R1$ ir $A2 + M2 + R1$.

Daliniai koeficientai A taikomi poveikiams ir poveikių efektams, daliniai koeficientai M – grunto rodikliams, daliniai koeficientai R – atsparumui. Turi būti patvirtinta, ar nesusidarys ribiniai saugos krūviai dėl suirimo ar pernelyg didelės deformacijos taikant konkrečius kiekvieno projektavimo atvejui skirtus dalinių koeficientų grupių derinius. Parenkant atraminės sienos įgilinimą, vertinant jos ar pagrindo visuminius poslinkius turi būti tikrinamas ribinis statinio pusiausvyros būvis (EQU), t. y. turi būti tenkinama sąlyga:

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} , \quad (1)$$

čia $E_{dst;d} = E\{F_d; X_d; a_d\}_{dst}$ - destabilizuojančių poveikių efekto skaičiuotinė vertė;

$E_{stb;d} = E\{F_d; X_d; a_d\}_{stb}$ - stabilizuojančių poveikių efekto skaičiuotinė vertė.

Skaičiuotinė poveikio vertė:

$$F_d = \gamma_F * F_{rep} ; \quad (2)$$

skaičiuotinė medžiagos savybės rodiklio vertė:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (3)$$

čia F_{rep} – poveikio reprezentacinė vertė;

X_k – medžiagos savybės rodiklio charakteristinė vertė.

Dalinių koeficientų γ_F reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Daliniai poveikių koeficientai γ_F

Poveikis	Žymuo	Vertė
Nuolatinis		
nepalankus ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,1
palankus ^b	$\gamma_{G,st}$	0,9
Kintamasis		
nepalankus ^a	$\gamma_{Q,dst}$	1,50
palankus ^b	$\gamma_{Q,st}$	0
Pastabos: ^a Destabilizuojamasis; ^b Stabilizuojamasis		

Parenkant atraminės sienos konstrukcinių elementų skerspjūvius, projektuojant sujungimo mazgus bei skaičiuojant pagrindo atsparumą, tikrinama sąlyga (STR ir GEO):

$$E_d \leq R_d; \quad (4)$$

čia $E_d = E\{F_d; X_d; a_d\}$, $R_d = R\{F_d; X_d; a_d\}$.

Daliniai koeficientai gali būti taikomi poveikiams arba jų efektams. Pagrindiniai atraminių sienų poveikiai – aktyvusis bei pasyvusis grunto slėgiai, kintamosios apkrovos uždėtos grunto paviršiuje arba grunto masyve, linijinės apkrovos, vandens slėgis ir kiti veikiantys horizontalieji slėgiai. Daliniai išvardytų poveikių koeficientai priklauso nuo tikrinamo ribinio būvio ir projekcinio atvejo. Pasirenkant dalinius STR ir GEO ribinių būvių koeficientus, nuolatinis bei kintamuosius poveikius reikia suskirstyti į palankius (pvz.: pasyvusis grunto slėgis, kintamoji apkrova iškasos pusėje ir kt.) bei nepalankius (pvz.: aktyvusis grunto slėgis, papildomas slėgis aktyvaus slėgio pusėje ir kt.).

Kai kurioms skaičiuotinėms situacijoms taikant dalinius koeficientus poveikiams grunte (grunto ar vandens slėgiai), galima gauti nerealias fizikiniu požiūriu skaičiuotines vertes. Šiais atvejais dalinius koeficientus galima tiesiogiai taikyti poveikių sukeltiems efektams, nustatytiems iš poveikių reprezentacinių verčių, kai daliniai koeficientai, taikomi poveikių efektams, patiems poveikiams lygūs 1,0.

Konstrukcijos ar mazgo atsparumas R_d skaičiuojamas taikant metodus konstrukcijoms projektuoti, o pagrindo laikomoji galia taikant metodus geotechninėms konstrukcijoms skaičiuoti. Tikrinant ribinius tinkamumo būvius turi būti tenkinama sąlyga:

$$E_d \leq C_d; \quad (5)$$

čia E_d – poveikių efekto skaičiuotinė vertė;

C_d – poveikio efekto ribinė skaičiuotinė vertė.

Sienų ir prie jų esančio grunto leidžiamųjų poslinkių ribiniai dydžiai turi būti nustatomi, įvertinant virš jų esančių statinių ir komunikacijų gebą pasislinkti.

Grunto slėgis į atraminius paviršius

Nustatant grunto slėgius turi būti įvertintas poslinkio pobūdis, dydis ir deformacija, kuri bus imama ir susidarys atraminiame statinyje konkretaus ribinio būvio atveju. Grunto slėgis į atramines sienutes priklauso nuo konstrukcijos deformacijų, todėl egzistuoja glaudus konstrukcijos deformacijų ir slėgių sąryšis. Šio uždavinio sprendimas – sudėtinga problema, kuri gali būti sprendžiama taikant baigtinių elementų metodą. Tačiau gali būti taikomi ir paprastesni skaičiavimo metodai. Grunto slėgiui nustatyti dažniausiai taikomos trys klasikinės teorijos:

- Kulono teorija, aprašanti pusiausvyros sąlygas grunto masyve;
- Rankino teorija, aprašanti įtempius grunto masyve;
- ribinių būvių teorija.

Skaičiuojant grunto slėgį, turi būti įvertinta:

- priekrovos dydis;
- pagrindo paviršiaus nuolydis;
- sienos pasvirimas pagal vertikale;
- vandens lygiai ir sunkimosi jėgos pagrinde;
- sienos poslinkio pagrindo atžvilgiu dydis ir kryptis;
- viso atraminio statinio vertikalioji ir horizontalioji pusiausvyra;
- grunto kerpamojo stiprio rodikliai (vidinės trinties kampas ir sankiba) ir svorio tankis;
- sienos ir visos laikančiosios sistemos standumas;
- sienos šiurkštumas.

Nuo sienos paviršiaus šiurkštumo priklauso tangentinių įtempių dydis, kuris gali būti sutelktas sienos ir pagrindo sąlyčio vietoje. Sąveika tarp sienutės ir grunto apibūdinama rodikliu δ - vadinamuoju trinties kampu.

Plieninių įlaidinių sienų, laikančių smėlį ar žvyrą, skaičiuotinė grunto ir sienos sąlyčio rodiklio vertė $\delta_d = k * \varphi_{cv;d}$. Plieninių įlaidinių polių $k \leq 2/3$, monolitinio betono sienų $k \leq 1$. Iš karto po to, kai jau yra sukalti plieniniai įlaidiniai poliai į molį, nereikėtų vertinti nei adhezijos (sukibimo), nei trinties į sieną. Tai pasireiškia tik po tam tikro laiko. $\varphi_{cv;d}$ - vidinės trinties kampas, esant kritiniam būviui.

Grunto slėgio dydžiai ir kryptys turi būti skaičiuojami remiantis pasirinktu projektavimo atveju ir atsižvelgiant į nagrinėjamą ribinį būvį. Jei siena grunto atžvilgiu nejuda, grunto slėgis turi būti skaičiuojamas remiantis rimties įtempių būviu. Nustatant rimties būvį, reikia įvertinti įtempių pagrinde kitimo eigą. Reikėtų laikyti, kad rimties būvis pagrinde paprastai susidaro tuomet, kai atraminio statinio poslinkiai $v \leq h/(2 * 10^5)$ (h - iškasos gylis), esant normaliai konsoliduotam gruntui.

Aktyviojo ir pasyviojo grunto slėgio dydis priklauso nuo atraminės sienos poslinkio. Aktyvusis slėgis - tai mažiausia galima grunto slėgio į atraminę sienutę reikšmė. Kad rastųsi aktyvusis slėgis, pakanka nedidelių atraminės sienos poslinkių $v_a \geq h/(5 * 10^3)$.

Pasyvusis slėgis pasiekia savo maksimalų dydį tik esant kur kas didesniems sienutės poslinkiams $v_p \geq (5 - 10) v_a$.

Grunto rimties slėgio horizontalioji dedamoji randama taip:

$$\sigma'_{h0} = k_0 * \sigma'_{vz} \quad (6)$$

čia k_0 - rimties slėgio koeficientas;

σ'_{vz} - efektyvusis vertikalus grunto slėgis gylyje z.

Kai pagrindo paviršius yra horizontalus, rimties slėgio koeficientas k_0 turėtų būti nustatomas taip:

$$k_0 = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR}, \quad (7)$$

$$k_0 = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR^\alpha}$$

Formulė netaikytina tada, kai perkonsolidavimo koeficiento OCR vertės labai didelės (LST EN 1997-1). α priklauso nuo perkonsoliduoto grunto tipo ir yra lygus $0,46 \pm 0,06$. Jei pagrindo paviršiaus nuolydžio kampas su horizontu sudaro $\delta \leq \varphi$, efektyviojo grunto slėgio horizontalioji komponentė σ'_{h0} gali būti siejama su efektyviuoju gamtiniu slėgiu, kai

$$k_{0,\beta} = k_0(1 + \sin \beta). \quad (8)$$

Laikoma, kad grunto slėgio atstojamosios jėgos veikimo kryptis yra lygiagreti su pagrindo paviršiumi. Vertinant sienutės posvyrį α , rimties slėgis:

$$\sigma_{h,0} = \sigma'_{vz} \sqrt{\sin^2 \alpha} + k_0^2 \cdot \cos^2 \alpha. \quad (9)$$

Tyrimais nustatytos įvairių gruntų rimties slėgio koeficientų reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Rimties slėgio koeficientų reikšmės

Gruntas	k_0
Tankusis smėlis	0,35-0,40
Purusis smėlis	0,55-0,60
Minkštas molis	0,50-0,60
Sutankintas molis	1,00-2,00
Sutankintas smėlis	1,00-1,50

Taikant supaprastintuosius skaičiavimo metodus, aktyvusis grunto slėgis į atraminę sienutę z gylyje lygus:

$$\sigma_a = k_a \cdot \sigma'_{vz} - 2c' \sqrt{k_a}. \quad (10)$$

Pasyvusis grunto slėgis gylyje z lygus:

$$\sigma_p = k_p \cdot \sigma'_{vz} + 2c' \sqrt{k_p}, \quad (11)$$

čia k_a - aktyviojo grunto slėgio koeficientas;

k_p - pasyviojo grunto slėgio koeficientas;

c' - grunto sankiba;

z - gylis, kuriame nagrinėjamas slėgis.

Aktyviojo ir pasyviojo grunto slėgio koeficientai priklauso nuo grunto vidinės trinties kampo φ efektyvios vertės, trinties kampo tarp sienutės ir grunto δ bei sienutės, atraminės plokštumos posvyrio kampo nuo vertikalės α ir grunto šlaito kampo nuo horizontalės plokštumos β :

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \alpha_a)}{\cos^2 \alpha_a \cdot \cos(\alpha_a + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - \beta_a)}{\cos(\alpha_a + \delta) \cdot \cos(\alpha_a - \beta_a)}} \right)^2},$$

$$k_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \alpha_p)}{\cos^2 \alpha_p \cdot \cos(\alpha_p - \delta) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - \beta_p)}{\cos(\alpha_p - \delta) \cdot \cos(\alpha_p + \beta_p)}}\right)^2}. \quad (12)$$

Liaunos atraminės sienos dažniausiai projektuojamos vertikalios, čia α_a ir α_p kampai lygūs 0. Tada aktyviojo ir pasyviojo slėgio koeficientai bus:

$$k_a = \frac{\cos^2 \varphi'}{\cos \delta \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' + \beta_a)}{\cos \delta \cdot \cos \beta_a}}\right)^2},$$

$$k_p = \frac{\cos^2 \varphi'}{\cos \delta \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - \beta_p)}{\cos \delta \cdot \cos \beta_p}}\right)^2} \quad (13)$$

Kai atraminės sienos paviršius yra vertikalus bei lygus, t. y. remiamasi prielaida, kad trinties tarp jos bei grunto nėra, o grunto paviršius yra horizontalus, tai aktyviojo ir pasyviojo slėgio koeficientų skaičiavimo išraiškos supaprastėja:

$$k_a = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right), \quad (14)$$

$$k_p = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right).$$

Tangentinių įtempių dydis tarp sienos plokštumos ir grunto lygus:

$$\tau_{a,v} = \sigma_{a,h} \cdot tg(\alpha_a + \delta)'$$

$$\tau_{p,v} = \sigma_{p,h} \cdot tg(\delta - \alpha_p). \quad (15)$$

Skaičiuojant horizontaliąją aktyviojo slėgio komponentę gali būti taikomos ir kitos priklausomybės

$$\begin{aligned}\sigma_{a,h} &= k_{a,h}\sigma'_{vz} + \frac{c'}{\operatorname{tg}\varphi'}(k_{a,h} \cdot k_1 - k_2), \\ k_1 &= \frac{\cos\alpha_a \cdot \cos\beta_a}{\cos(\alpha_a - \beta_a)}, \\ k_2 &= \frac{\cos(\alpha_a + \delta)}{\cos\alpha_a \cdot \cos\delta}, \\ k_{a,h} &= \frac{\cos^2(\varphi' - \alpha_a)}{\cos\alpha_a^2 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - \beta_a)}{\cos(\alpha_a + \delta) \cdot \cos(\alpha_a - \beta_a)}}\right)^2}.\end{aligned}\tag{17}$$

čia sankabumas c' vertinamas tik tada, kai:

$$k_{a,h} \cdot k_1 - k_2 < 0.\tag{18}$$

Horizontalioji pasyviojo slėgio komponentė:

$$\sigma_{p,h} = k_{p,h}\sigma'_{vz} + \frac{c'}{\operatorname{tg}\varphi'}\left(k_{p,h} - \frac{\cos(\delta - \alpha_p)}{\cos\delta \cdot \cos\alpha_p}\right),\tag{19}$$

čia $k_{p,h}$ - pasyviojo slėgių horizontaliosios komponentės koeficientas:

$$k_{p,h} = \frac{\cos^2(\varphi' + \alpha_p)}{\cos\alpha_p^2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - \beta_p)}{\cos(\alpha_p - \delta) \cdot \cos(\alpha_p + \beta_p)}}\right)^2}.\tag{20}$$

Efektyvaus vertikaliojo slėgio reikšmė σ_{vz} priklauso nuo gylio z , grunto svorio tankio ir apkrovų, esančių grunto paviršiuje. Kai gruntas vienodas, jį randame taip:

$$\sigma'_{vz} = \gamma \cdot z + p - u\tag{21}$$

čia γ - grunto svorio tankis;

z - gylis, kuriame nagrinėjamas slėgis;

p - tolygiai išskirstyta apkrova, pridėta grunto paviršiuje;

u - porinis slėgis.

Jeigu gruntas sluoksniuotas, reikia įvertinti kiekvieno sluoksnio skirtingus svorio tankius:

$$\sigma'_{vz} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i + p,\tag{22}$$

čia n - visų grunto sluoksnių skaičius iki nagrinėjamo taško;

h_i - i -tojo sluoksnio storis;

γ_i - i -tojo sluoksnio grunto svorio tankis.

Vandeninguosiuose sluoksniuose, veikiant Archimedo jėgai, grunto svorio tankis sumažėja. Jis vadinamas atsverto grunto svorio tankiu. Didelę įtaką slėgiui turi gruntinis vanduo. Vandeningųjų gruntų sluoksniuose atramines sienas papildomai veiks hidrostatinis slėgis. Ribinės grunto slėgių vertės turi būti nustatomos įvertinant grunto ir sienos tarpusavio santykinius judesius ir atitinkamų suirimo paviršių formą.

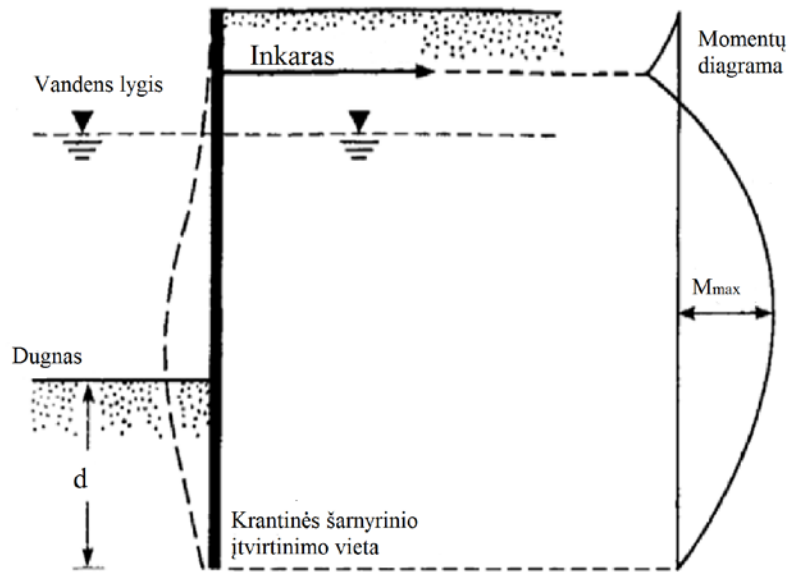
Skaičiuojant aktyviojo slėgio koeficiento reikšmes, turėtų būti atsižvelgta į poslinkius, kuriems esant bus sukeltas ribinis būvis nuo horizontaliojo aktyviojo slėgio, veikiančio už vertikaliosios sienos. Šio poslinkio dydis priklauso nuo sienos poslinkio būdo ir grunto tankio. Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad nesankabiuosiuose gruntuose ribinis pasyvusis slėgis bus pasiektas, kai atraminės sienos poslinkiai bus gerokai didesni negu veikiant aktyviajam ribiniam grunto slėgiui.

Warrington Don C. straipsnyje „Anchored Sheet Pile Wall Analysis Using Fixed End Method Without Estimation of Point of Contraflexure“ nurodo, kad krantines iš plieninių sprautasienių galima suskirstyti į gembines, skaičiuojamas kaip gembė ir įtvirtintas inkarais, skaičiuojama kaip laisvai paremta sija arba standžiai įtvirtinta sija.

Geminės krantinės nebūna didelės. Atsižvelgiant į geologines sąlygas jos gali siekti 8-9 m. Tačiau esant nepalankioms sąlygoms, gali būti neekonomiška jas rinktis ir esant 5-6 m aukščio. Taip atsitinka todėl, kad veikiant didelėms apkrovoms susidaro didelis lenkimo momentas, o viršutinė neįtvirtinta dalis pasislenka neleistinai daug. Didžiausias lenkimo momentas veiks tame sienutės taške, kuriame gaunamas abejose pusėse veikiančių jėgų balansas. Krantinės stabilumą užtikrina pasyvusis grunto slėgis. Sprautasienės elemento įgilinimas nustatomas sudarant momentų pusiausvyros lygtį aplink tašką, kuriame veikia didžiausias lenkimo momentas. Reikalingas faktinis sienutės įgilinimas turi būti 1,2 karto didesnis už apskaičiuotąjį.

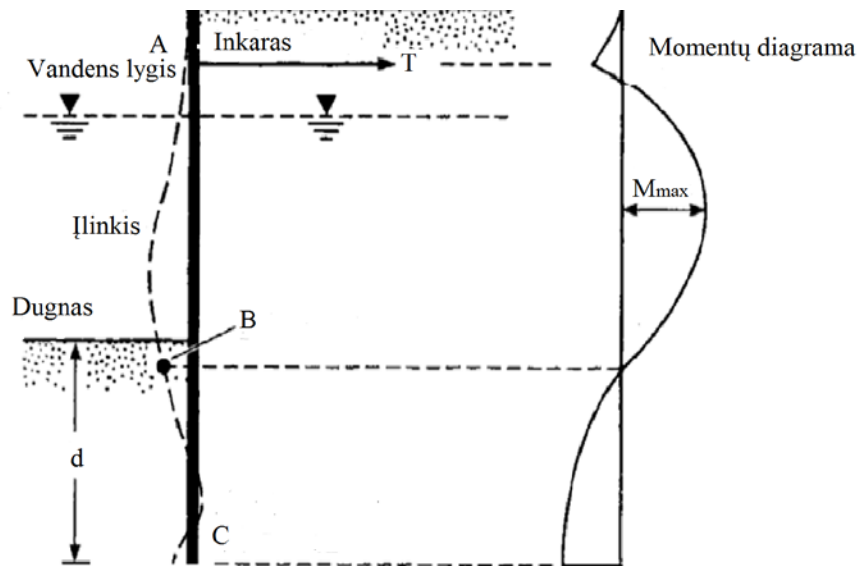
Įtvirtintos inkarais krantinės daug ekonomiškesnės. Naudojant inkarus galima įrengti daug aukštesnių krantinių nei naudojant gembines krantines. Šio tipo krantinėse stabilumą užtikrina pasyvusis grunto slėgis ir inkarai, kurie gali būti išdėstyti keliais lygiais. Kuo daugiau inkarų lygių įrengiama, tuo liaunesnę ir aukštesnę krantinės konstrukciją galima pasirinkti. Tačiau dėstant inkarus, būtina įvertinti darbinę inkaro zoną. Inkarais sutvirtintos krantinės elgseną vertinti sudėtinga, nes būtina atsižvelgti į bendrą sienutės ir grunto darbą.

Sprautasienės elemento, kaip laisvai paremtos sijos, skaičiavimas pagrįstas tuo, kad sistema sudaro šarnyriškai atremta sija (16 pav). Šarnyrinės atramos priimamos ties inkaru ir ties įgilinimu. Skaičiuojant šiuo metodu priimta, kad įgilinimas negali užtikrinti pakankamai didelio pasyvinio slėgio, kad sukurtų neigiamus lenkimo momentus.



16 pav. Spaustasienės elemento, kaip laisvai atremtos sijos, schema

Kad spaustasienės elementas būtų standžiai įtvirtintas, jis į gruntą turi būti įgilintas giliau nei laisvai atremtas elementas. Spaustasienės elemento skaičiavimas kaip standžiai įtvirtintos sijos (17 pav.) sprendžiamas taikant tampriosios linijos metodą. Šio metodo esmė – parinkti tokį įgilinimą (d), kad atsirastų taškas, kuriame momentas keistų ženklą arba būtų lygus 0. Sprendžiant šiuo būdu reikalingos didelės laiko sąnaudos ir tam reikalingas daugkartinis perskaičiavimas, todėl praktikoje dažniausiai naudojamas dviejų sijų metodas. Sprendžiant šiuo metodu sienutė dalijama į dvi dalis ties tašku, kuriame momentas keičia ženklą arba yra lygus 0 (taškas B).



17 pav. Spaustasienės elemento, kaip standžiai įtvirtintos sijos, schema

Pirmiausiai yra nagrinėjama viršutinė dalis. Sudaroma momentų pusiausvyros lygtis aplink tašką, kuriame yra įtvirtintas inkaras (taškas A) ir randama atraminė reakcija R_B , taške, ties kuriuo buvo padalinta sija (taškas B). Remiantis ilgalaikiais tyrinėjimais buvo pastebėta priklausomybė tarp atstumo z (atstumas tarp taško B ir dugno) ir grunto vidinės trinties kampo φ bei krantinės aukščio h :

$$\begin{aligned}\varphi &= 20^\circ, z = 0,25h \\ \varphi &= 30^\circ, z = 0,08h \\ \varphi &= 40^\circ, z = -0,06h\end{aligned}$$

Sudarę horizontalių jėgų pusiausvyros lygtį randame sijos atraminę reakciją R_A . Atraminė reakcija R_A yra lygi inkaro tempimo jėgos horizontaliai komponentei T . Apskaičiavus atraminę reakciją R_B ir inkaro tempimo jėgos horizontaliąją komponentę T skaičiuojama apatinė sija, kurios nežinomieji:

- atstumas tarp B ir C taškų,
- atraminė reakcija R_C .

Atstumas tarp B ir C randamas iš momentų pusiausvyros lygties apie tašką C. Atraminė reakcija R_C randama iš horizontalių jėgų pusiausvyros lygties. Atstumas z nustatomas taikant formulę:

$$z = \frac{\sigma_a}{\gamma \cdot K} \quad (23)$$

čia σ_a – aktyvinis grunto slėgis dugno lygyje;
 γ – grunto svorio tankis žemiau dugno;
 K - slėgio koeficientas, kuris apskaičiuojamas:

$$K = k \cdot k_p \cdot \cos\delta_p - k_a \cdot \cos\delta_a \quad (24)$$

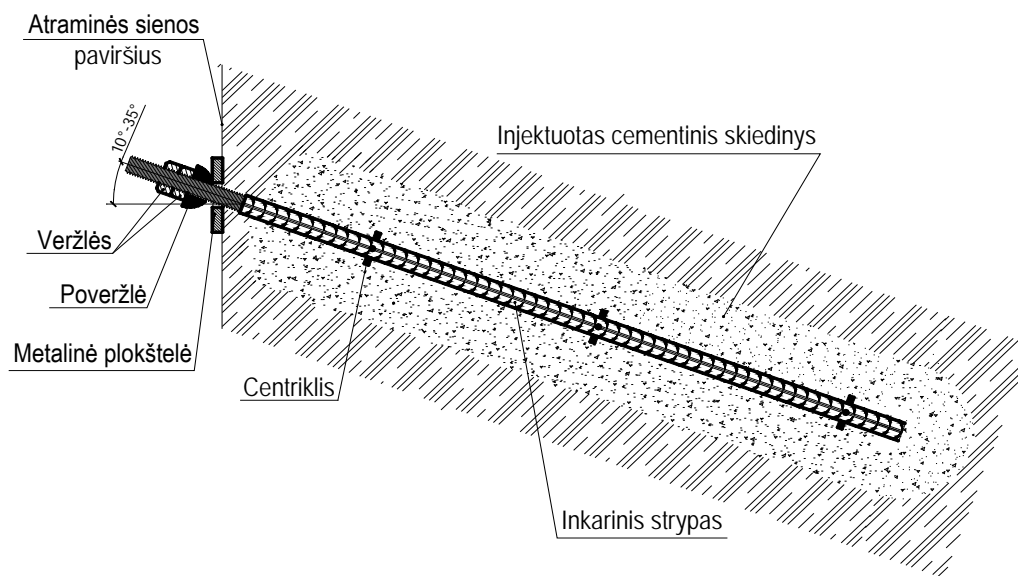
čia k – pasyviojo slėgio mažinimo koeficientas;
 k_p ir k_a - pasyviojo ir aktyviojo slėgio koeficientai;
 δ_p ir δ_a – trinties kampai tarp sienutės ir grunto aktyviojo ir pasyvinio slėgio pusėse.

Atlikus skaičiavimus pagal turimas jėgas, reikia sudaryti lenkimo momentų diagramą. Susidarius lenkimo momentų diagramą pagal galiojančias normas ir galimų krantinės elementų skerspjuvio charakteriskas parenkame reikalingą elemento profilį.

1.3 Gruntinio inkaro įrengimas

Gruntinis inkaras yra sudarytas iš tempiamo plieninio strypo ir injektuotas cementinis skiedinys. Veikiančias jėgas inkaras perduoda gruntui per inkaro ir esamo grunto trintį. Injektuotas cementinis skiedinys užtikrina atramą plieniniam strypui, kad jį būtų galima įtempti. Populiariausias

būdas įrengti gruntinius inkarus yra naudojant tuščiavidurius strypus su prie jais pritvirtintais gražtais. Gražtai parenkami pagal esamą gruntą, o sugręžus inkarą yra injektuojamas cementinis skiedinys, kuris suformuoja apsauginį sluoksnį apie plieninį inkarą.



18 pav. Inkaras

(Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis literatūrinių šaltinių analize)

Merifiels R.S., Lyamin A.V. (2003, 246 p.) išskiria tris pagrindinius inkarų tipus: apvalius, kvadratinius ir stačiakampius. Šie autoriai akcentuoja, kad tiek apvalių, tiek kvadratinių, tiek stačiakampių inkarų paviršiaus nelygumas neturi didelės įtakos inkaro atspariui.

Projektuojant inkarus būtina patikrinti šias sąlygas:

Inkaro medžiagų suirimas. Analizuojant inkarų suirimo priežastis, galima išskirti keletą pagrindinių jų suirimo priežasčių. Pagal El Nagar M. (2010, 69 p) dažniausiai inkarai suyra dėl per didelės inkaro tempimo jėgos. Šios jėgos padidėjimas siejamas su tempimo įražomis vykdant inkaro bandymus, krantinės priekrovos padidėjimu. Projektuojant būtina atsižvelgti, kad veikiančios jėgos būtų mažesnės už tas, kurias gali atlaikyti inkaras. Dažniausiai reikia patikrinti ne maksimalią jėgą, kurią gali atlaikyti inkaras, o jėgą, kuriai veikiant atsiranda smulkiagrūdžio betono pleišėjimas, nes atsiradus plyšiams pradėtų koroduoti plieninis strypas.

Gruntinio inkaro išitraukimas iš grunto. Tikrinant ar inkaras nebus ištrauktas iš grunto pirmiausiai nustatoma jėga, kurią inkaras perduoda gruntui, tada tikrinama ar jėga nėra didesnė už grunto ir inkaro trinties jėgą.

Reikalingo inkaro ilgio parinkimas. Reikalingas inkaro ilgis parenkamas atsižvelgiant į esamus gruntuos. Jis turi būti ilgesnis už grunto slydimo prizmę.

Siekiant apsaugoti neužinkaruotą inkaro dalį nuo aplinkos neigiamo poveikio yra įrengiama inkaro galva. Inkaro galva parenkama tokia, kad būtų galima įtempti inkaravimo strypą, jį apkrauti bandymo, tikrinimo apkrova, įvaržos apkrova, atpalaiduoti ir iš naujo įtempti. Inkaro galva paskirsto inkaravimo strypą veikiančią apkrovą pagrindui ar pagrindo gruntui. Inkaro galva pritaikoma atsižvelgiant į deformacijas, kurios gali atsirasti per visą statinio naudojimo laiką.

Inkaravimo strypai turi būti padengti mažiausiai 10mm injekciniu skiediniu iki gręžinio sienučių. Tam naudojami tarpikliai ir centrikliai. Inkaro įrengimui naudojamas cementinis skiedinys. Visi plieno elementai turi būti apsaugoti nuo korozijos per visą jų naudojimo laiką. Antikorozinės apsaugos standartai klasifikuojami pagal inkarų projektinį laiką:

Laikinieji inkarai yra tokie, kurių naudojimo laikas ne ilgesnis kaip dveji metai. Laikinių inkarų plieniniai elementai turi būti apsaugoti nuo korozijos mažiausiai dvejiems metams. Į gręžinį injektuotą cementinį skiedinį leidžiama naudoti kaip laikiną apsaugą, jeigu jo storis per visą inkaravimo strypo ilgį yra ne mažesnis kaip 10mm storio.

Nuolatiniai inkarai – kurių naudojimo laikas ilgesnis negu dveji metai. Nuolatinių inkarų strypai saugant juos nuo korozijos turi būti padengti bent vienu ištisiniu antikorozinės medžiagos sluoksniu, kuris nesuirtų per visą projekte numatytą inkaro naudojimo laiką. Nuolatinių inkarų strypai pasirinktinai turi turėti du apsauginius barjerus. Įrengimo arba inkaro įtempimo metu korozijai pažeidus vieną iš jų, antrasis turi išlikti sveikas. Arba vieną apsauginį barjerą, kurio vientisumas turi būti patikrintas bandant kiekvieną įrengtą inkarą.

Kaip antikorozinius barjerus nuolatiniams inkarų strypams galima naudoti dervas, injektuotas ar užteptas kontrolės metu ant strypo 5mm storiu, leidžiama naudoti kaip vieną iš nuolatinių barjerų, jeigu jos nesutrūkusios, apsaugotos ir neperslėgtos.

Plieno paviršius galima padengti epoksidinėmis dervomis, poliuretalinėmis dervomis ir užlydytomis epoksidinėmis dangomis, jeigu jie nuvalyti smėlio srove ir ant jų nėra kitų ardančių medžiagų. Šias dangas galima naudoti nuolatiniams inkaravimo strypams kaip antikorozinius barjerus, jeigu jų sluoksnio storis ne mažesnis kaip 0,3mm, jos įrengiamos gamykloje ir jeigu įrengiant neatsirado pūslių. Jei aplinka agresyvi, tiek nuolatinių, tiek ir laikinių inkarų inkaro galvos apsauga turi būti įrengta iš anksto.

Ertmės inkarams turi būti išgręžtos atsižvelgiant į nustatytas leistinąsias nuokrypas. Ertmės skersmuo turi būti toks, kad būtų galima gauti nustatytą injekcinio skiedinio storį aplink inkaravimo strypą įtvirtintoje inkaro dalyje. Leidžiama gręžti giliau nustatyto gylio jei negalima iš gręžinio dugno

ištraukti nuobiras. Jei nenurodyta kitaip pasirenkant gręžimo įrangą ir ją pastatant į vieta turėtų būti laikomasi šių sąlygų:

- gręžinio ertmės ašis inkaro galvoje turėtų būti nukrypusi ne daugiau kaip 75mm;
- gręžinio kryptis pradžioje pastačius gręžti neturėtų skirtis nuo nustatytosios daugiau kaip 2°.

Nuokrypos turėtų būti tikrinamos išgręžus 2m. Gręžinio ertmės gręžimo metu leistinasis nuokrypis yra apribotas 1/30 inkaro ilgio. Šie leistinieji nuokrypiai gali būti padidinti atsižvelgiant į gruntines sąlygas.

Gręžimo būdas pasirenkamas atsižvelgiant į grunto sąlygas, siekiant kuo mažiau paveikti aplink esantį gruntą arba taip, kad tas poveikis būtų naudingiausias inkaro laikomajai galiai ir leistų gauti projekcinį inkaro stiprį (Rd). Gręžiant ir įleidžiant inkaravimo strypą gręžinio sienutės neturi virsti, o aplinkui esantis gruntas turi būti kaip galima mažiau išjudintas. Požeminio vandens lygis keičiamas kaip galima mažiau. Turi būti kuo mažiau susilpninamas gręžinio sienučių paviršiaus gruntas gręžiant sankabiuose gruntuose ar suirusiose uolose.

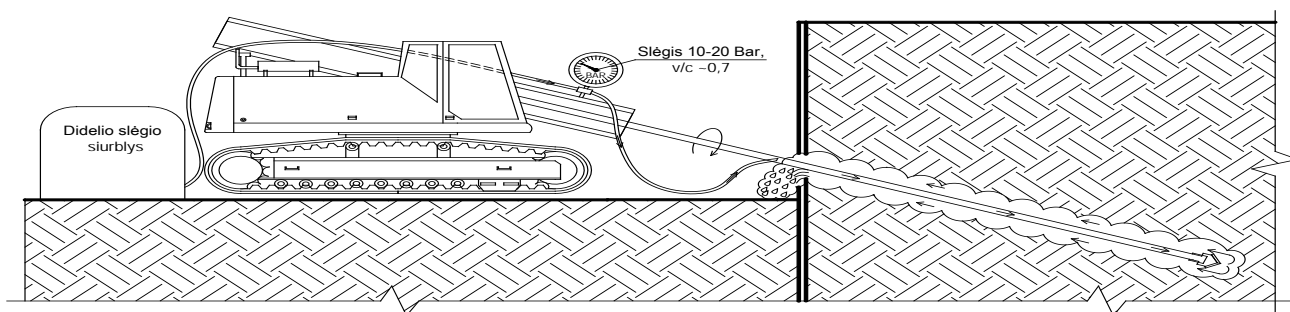
Gręžimo skiedinys ir priedai neturi ardyti inkaravimo strypo, jo apsaugos, injekcinio skiedinio, gręžinio sienučių, ypač inkaravimo strypo įtvirtintosios dalies. Kai gręžiama per gruntą, kurį veikia artezinis požeminis vandens slėgis, imamas specialių atsargos priemonių. Kai gruntinis vanduo yra labai aukštai, reikia naudoti sunkiuosius gręžimo skiedinius.

Laikotarpis tarp atskirų operacijų įrengiant inkarus priklauso nuo grunto savybių. Tačiau jis turi būti kiek įmanoma trumpesnis. Injektavimas atliekamas siekiant šių tikslų arba vieno iš jų:

- įrengti įtvirtintąją inkaro dalį, kad inkaravimo strypą veikiančią apkrovą būtų galima perduoti aplink esančiam gruntui;
- apsaugoti inkaravimo strypą nuo korozijos;
- sutvirtinti gruntą prie įtvirtintosios inkaro dalies, kad padidėtų inkaro laikomoji galia;
- užsandarinti gruntą prie įtvirtintosios inkaro dalies, siekiant sumažinti skiedinio nuostolius.

Išgręžus ar injektuojant inkarą būtina įsitikinti, kad įtvirtintoji inkaro dalis yra visiškai užinjektuota. Tai galima atlikti bandant vandeniu, matuojant skiedinio nuoslūgį ar injektuojant su slėgiu.

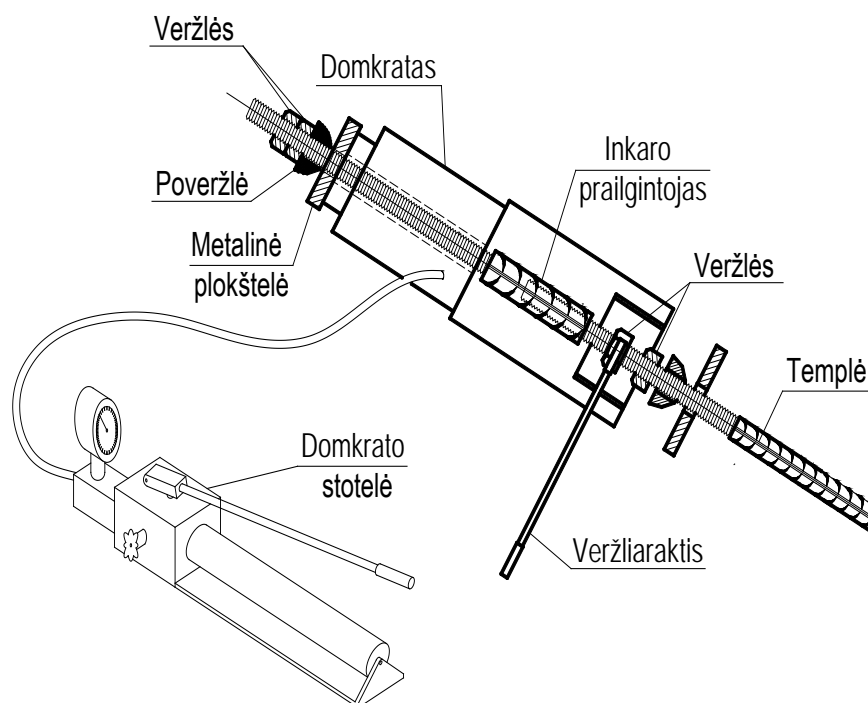
Baigus gręžti kiek įmanoma greičiau pradedama injektuoti. Injektuojant įtvirtintosios dalies ilgį vamzdžio galas panardinamas į skiedinį. Injektuojama tol, kol ištekancio skiedinio konsistencija tampa tokia pati, kaip injektuojamojo skiedinio konsistencija. Injektuoti pradedama visuomet nuo apačios. Kad ertmė būtų visiškai užpildyta skiediniu, oras ir vanduo turi pasišalinti.



19 pav. Inkaro grėžimas

Bandymai atliekami pagal LST EN 1537 pateiktus 3-ojo bandymo metodo dalies „priėmimo bandymo“ reikalavimus (20 pav). Priėmimo bandymas turi būti atliekamas kiekvienam darbiniam inkarui. Šiais bandymais patvirtinama:

- inkaro gebėjimas atlaikyti išbandytą apkrovą;
- jei reikia, valkšnumo arba apkrovos nuostolių dydžiai veikiant darbinei apkrovai;
- skaičiuojamasis laisvasis inkaravimo strypo ilgis Lapp.



20 pav. Inkaro bandymo schema

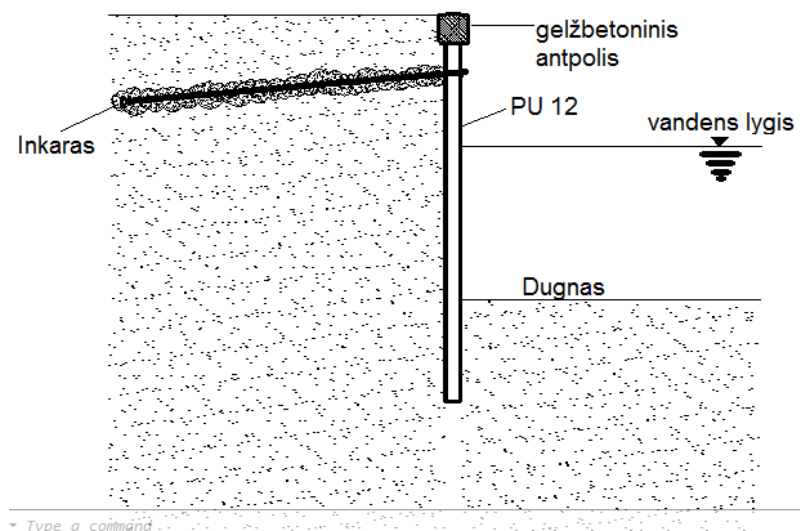
Inkaro apkrova palaipsniui didinama ciklais pradedant pradine ir baigiant išbandymo apkrova arba iki suirimo. Inkaro galvos poslinkis matuojamas išlaikius nekintamą apkrovą kiekvienoje pakopoje. Inkaras turi būti apkraunamas išbandymo apkrova (P_p) mažiausiai trimis vienodomis apkrovos pakopomis. Vėliau inkaras nukraunamas iki pradinės apkrovos (P_a) ir vėl apkraunamas iki

įvaržos apkrovos (P0). Tikrinimo periodas, pasiekus įvaržos apkrovą, turi būti ne trumpesnis kaip 5min. Rekomenduojama inkarą apkrauti per 4 pakopas ir inkaro galvos poslinkį prie pastovios apkrovos fiksuoti tokiais periodais: 1 – 2 – 3 – 5 – 10 – 15 minučių.

Apkrova perduodama hidrauliniu domkratu, jos dydis kontroliuojamas pagal hidraulinės sistemos tepalo slėgį pavyzdiniu manometru. Galvos poslinkis matuojamas indikatoriumi, kurio padalos vertė 0,01 mm.

2. INKARO ĮTEMPIMO JĖGOS POVEIKIO PLIENINEI SPRAUSTASIENEI ANALIZĖ

Savo darbe nagrinėju krantinę, kurią sudaro: ArcelorMittal plieniniai sprastasienės elementai PU-12, gelžbetoninis antpolis, DIWI firmos gruntinis inkaras su grąžtiniu antgaliu (21 pav.). Krantinė įgilinta į smėlinį gruntą.



21 pav. Nagrinėjamos krantinės skerspjūvis

(Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis literatūrinių šaltinių analize)

Plieninė sprastasienės elementai PU-12 yra pagaminti iš S430 GP klasės plieno. Rementis LST EN 10248-1:200 šio plieno minimali takumo riba f_y lygi 480MPa. Šio elemento charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje.

3 lentelė. PU – 12 plieninės sprastasienės elemento charakteristikos

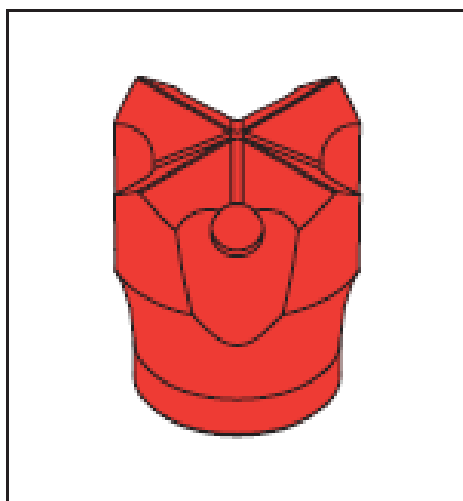
	Skerspjūvio plotas	Masė	Inercijos momentas	Atsparumo momentas	Inercijos spindulys
	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
Vienas elementas	84,2	66,10	4500	370	7,31
Du elementai	168,40	132,20	25920	1440	12,41
Trys elementai	252,60	198,30	36060	1690	11,95
1 metras sienos	140,0	110,10	21600	1200	12,41

Pasirinkto gruntinio inkaro DIWI R51L išorinis diametras - 51mm, vidinis - 35mm. Šio inkaro stiprumo riba yra 550 kN, o stipris pagal takumo ribą yra 450kN. Jį galima įgilinti iki 26 m. Visos šio inkaro charakteristikos pateikiamos 4 lentelėje.

4 lentelė. Gruntinio inkaro DIWI R51L charakteristikos

Inkaro žymuo	R51L
Išorinis diametras, mm	51
Vidinis diametras, mm	35
Skerspjūvio plotas, mm ²	740
Stiprumo riba, kN	550
Takumo riba, kN	450
Vidutiniai stiprumo įtempiai, MPa	743
Vidutiniai takumo įtempiai, MPa	608
Svoris, kg/m	5,90
Maksimalus inkaro ilgis, m	26

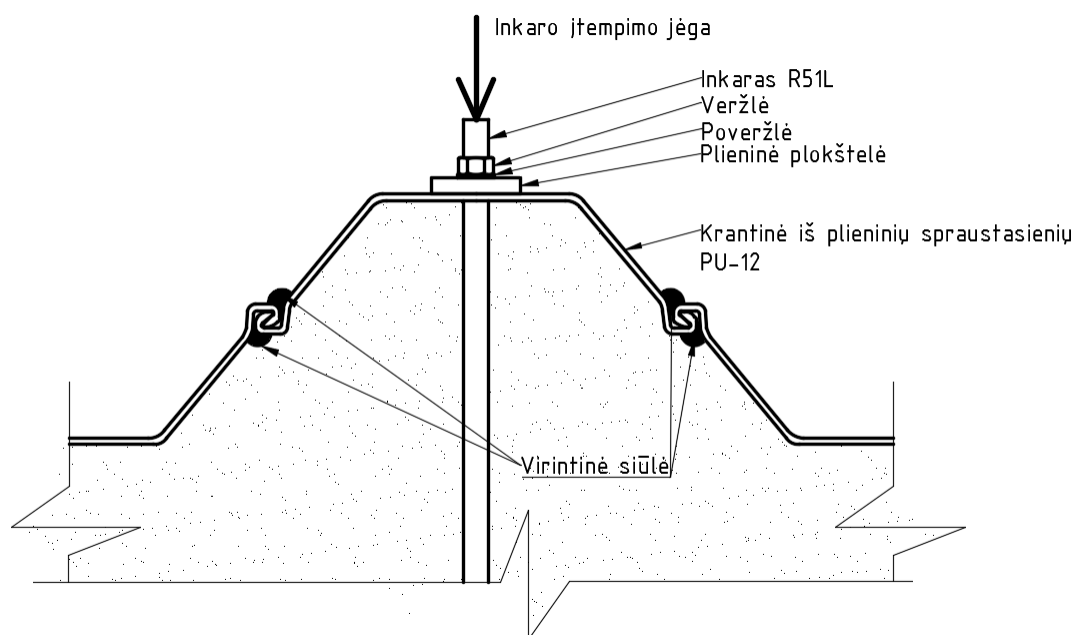
Gruntiniam inkarui įrengti reikalinga gražtinė galvutė, kuri montuojama ant inkaro. Kadangi inkaras gręžiamas per smėlinį gruntą, pasirenku DIWI firmos gražtinę galvutę, skirtą smėliniams ir žvyriniams gruntams. Pagal naudojamą inkarą pasirenku 90 mm diametro galvutę (22 pav).



22 pav. Gražtinė galvutė, skirta smėliniams ir žvyriniams gruntams

(Šaltinis: http://www.ebsgeo.com/ModuleFile/getFile_DYWIDAG%20Drill%20Hollow%20Bar%20System?id=2009)

Pagal inkaro charakteristikas plieninėje spraustasienėje iš anksto išgręžiamos 92 mm diametro skylės inkarams. Elementai pirmiausia jungiami virintine siūle grupėmis po tris vienetus ir tik tada kalami. Sukalus spraustasienės elementus, įrenginėjami inkarai. Įrengus ir atlikus inkarų bandymus, inkarai įtempiami iki projektinės apkrovos ir įtvirtinami plieninėje spraustasienėje. Įtvirtinimui naudojamos plieninės plokštelės su 52 mm diametro skylė. Įtvirtintus inkarą spraustasienėje, inkaro įtempimo jėga veikia plokštelę, kuri gniuždo plieninės spraustasienės elementą (23 pav).



23 pav. Inkaro įtempimo jėgos veikimo schema

(Šaltinis: sudaryta autoriaus, naudojant AUTOCAD programą)

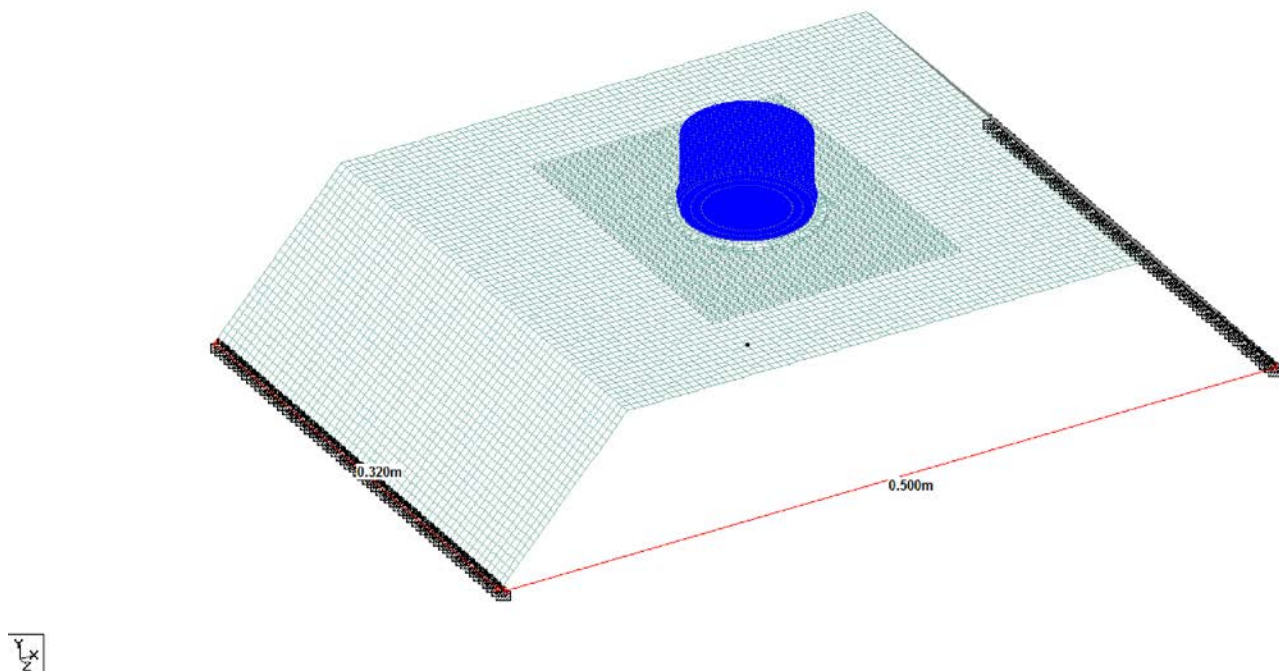
Dėl šios jėgos veikimo, spraustasienės elemente vyksta vietinis gniuždymas, dėl kurio sąlyginai nedidelėje elemento dalyje atsiranda įtempių koncentracijos. Dėl atsiradusių įtempių spraustasienės elementas deformuojasi ir tampa nebeatsparus išoriniams poveikiams.

2.1 Skaitmeninio modelio sudarymas ir analizavimas

Turima laboratorijoje įranga leidžia išbandyti tik riboto dydžio bandinius, kurių maksimalūs matmenys gali siekti 320 mm x 520mm. Pagal maksimalius galimus bandinio matmenis sudarau sumažintą skaitmeninį modelį.

Šį modelį sudaro sumažintas plieninės spraustasienės elementas su 92 mm diametro skylė centre, kurio kraštinės įtvirtinamos standžiai (24 pav). Ant elemento viršaus sumodeliuota 30 mm storio plieninė plokštelė su 52 mm diametro skylė. Sistema modeliuojama iš plokštelių, kurių matmenys neviršija 5 mm. Sudarytame modelyje inkaras apkrovą perduoda visu poveržlės paviršiumi,

kuris remiasi į plieninę plokštelę. Plieninė plokštelė apkrovą sprausstasienės elementui perduoda per strypelius, kurie perima tik gniuždymo jėgą.



24 pav. Skaitmeninio bandinio modelis

(Šaltinis: sudaryta autoriaus, naudotant STAAD Pro programa)

Kadangi modeliuojant kompiuteriu apribojimų nėra, todėl atlikau skaičiavimus keičiant plieninių plokštelių pločius (x kryptimi) ir ilgius (z kryptimi). Buvo nagrinėjamos plokštelės, kurių ilgis ir plotis nuo 100 iki 250 mm, keičiant plokštelių matmenis kas 10 mm. Visų nagrinėtų plokštelių storis – 30 mm. Nagrinėtos inkaro įtempimo jėgos nuo 0-150 kN, didinant apkrova po 10 kN. Iš viso buvo sudarytos 256 skaičiuojamosios schemas. Išnagrinėjus visas skaičiuojamąsias schemas, dėl duomenų gausos 5 ir 6 lentelėse nusprendžiau pateikti įtempimų dydžius, kai plokštelių plotis 160 mm.

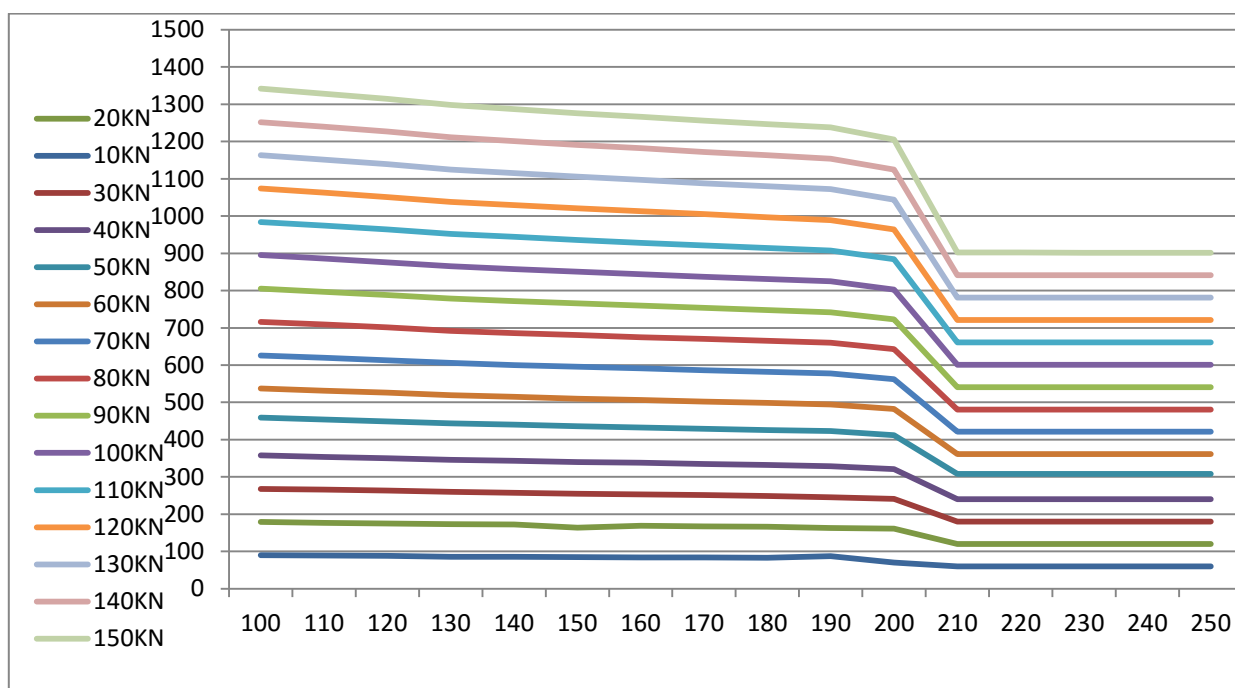
5 lentelė. Maksimalūs įtempiai sprastasiene elemente (gauti ties skylyje)

Ilgis mm/ Apkrova`	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
10KN	90	89	88	86	86	85	84	84	83	87	70	60	60	60	60	60
20KN	179	177	175	173	172	164	169	167	166	163	161	120	120	120	120	120
30KN	268	266	263	260	257	255	253	251	249	245	241	180	180	180	180	180
40KN	358	354	350	346	343	340	338	335	332	329	321	240	240	240	240	240
50KN	459	454	449	444	440	436	433	429	426	423	412	308	308	308	308	308
60KN	537	531	526	519	515	510	506	502	499	494	482	361	361	361	361	361
70KN	626	620	613	606	600	596	591	586	582	578	562	421	421	421	421	421
80KN	716	709	701	692	686	681	675	670	665	660	643	481	481	481	481	481
90KN	805	797	788	779	772	766	760	754	748	742	723	541	541	541	541	541
100KN	895	886	876	865	858	851	844	837	831	825	803	601	601	601	601	601
110KN	984	974	964	952	944	936	928	921	914	907	884	661	661	661	661	661
120KN	1074	1063	1051	1038	1029	1021	1013	1005	997	989	964	721	721	721	721	721
130KN	1163	1151	1139	1125	1115	1106	1097	1088	1080	1072	1044	781	781	781	781	781
140KN	1252	1240	1227	1211	1201	1191	1182	1172	1163	1154	1125	841	841	841	841	841
150KN	1342	1328	1314	1298	1287	1276	1266	1256	1247	1238	1205	902	902	901	901	901

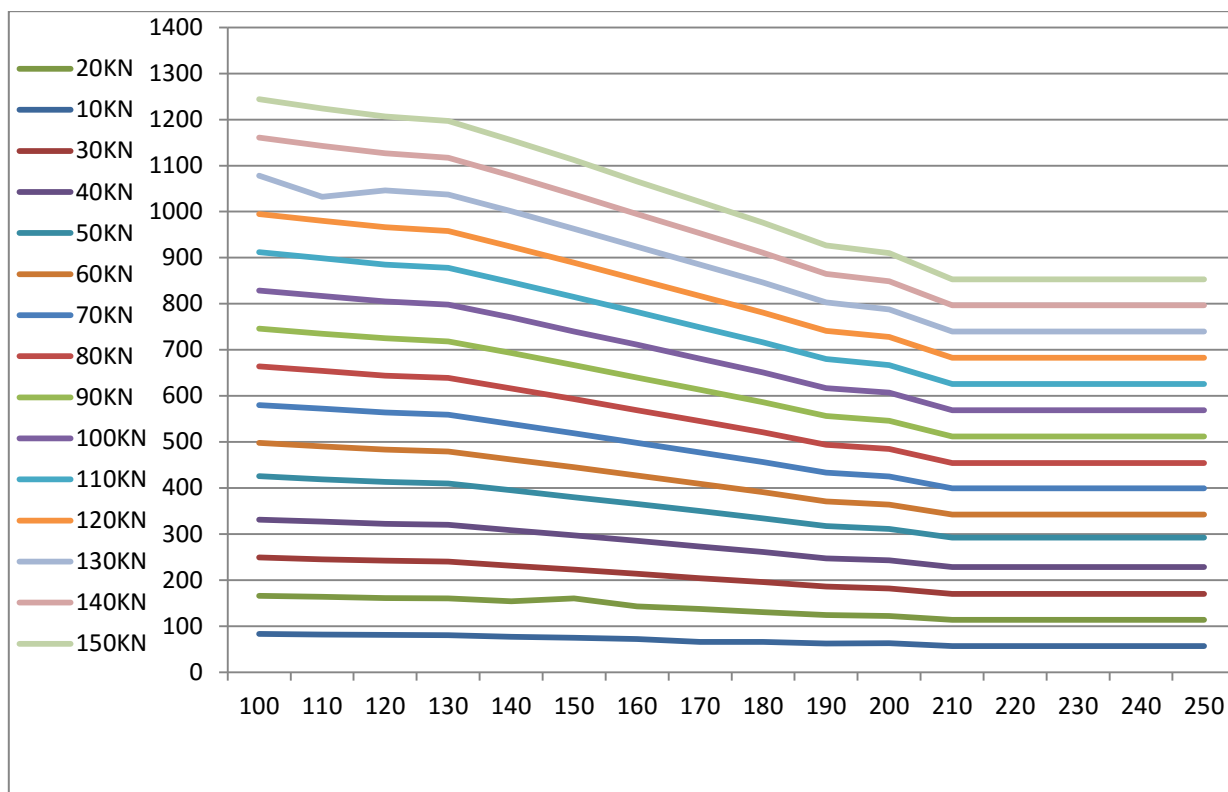
6 lentelė. Didžiausi įtempiai sprausťasienės elemente(ties plokštelės kraštu)

Ilgis mm/ Apkrova`	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
10KN	83	82	81	80	77	75	72	66	66	62	63	57	57	57	57	57
20KN	166	164	161	160	154	160	143	137	130	124	122	114	114	114	114	114
30KN	249	245	242	240	231	223	214	204	196	186	182	170	170	170	170	170
40KN	331	327	322	320	308	297	285	273	261	247	243	228	228	228	228	228
50KN	426	419	413	410	395	380	365	350	334	317	311	292	292	292	292	292
60KN	498	490	483	479	462	445	427	409	391	371	364	342	342	342	342	342
70KN	580	572	564	559	539	519	498	477	456	433	425	399	399	399	399	399
80KN	664	654	644	639	616	593	569	545	521	494	485	454	454	454	454	454
90KN	746	735	725	718	693	667	640	613	586	556	546	512	512	512	512	512
100KN	829	817	805	798	770	740	711	681	651	617	607	569	569	569	569	569
110KN	912	899	885	878	847	815	782	749	716	680	667	626	626	626	626	626
120KN	995	980	966	958	924	889	853	817	781	741	728	683	683	683	683	683
130KN	1078	1032	1046	1037	1001	963	924	885	846	803	788	740	740	740	740	740
140KN	1161	1143	1127	1117	1078	1037	995	953	911	865	849	797	797	797	797	797
150KN	1244	1224	1207	1197	1155	1112	1066	1021	976	927	910	853	853	853	853	853

Pagal lentelėse pateiktus duomenis sudarau įtempių pasiskirstymo grafikus (25 pav.), kuriuose ordinatėje sužymėti įtempiai išreikšti MPa, o abscisėse plieninių plokštelių ilgiai išreikšti mm.



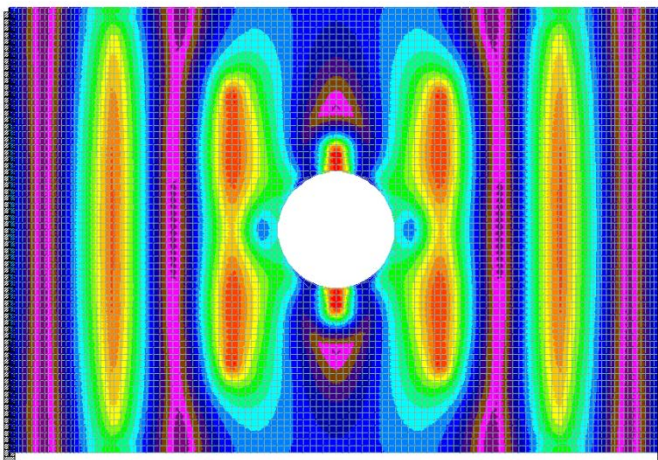
25 pav. maksimalūs įtempiai sprausstasienės elemente (ties skylyje)



26 pav. Didžiausi įtempiai sprausstasienės elemente (ties plokštės kraštu)

(Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis skaitmeninio modelio rezultatais)

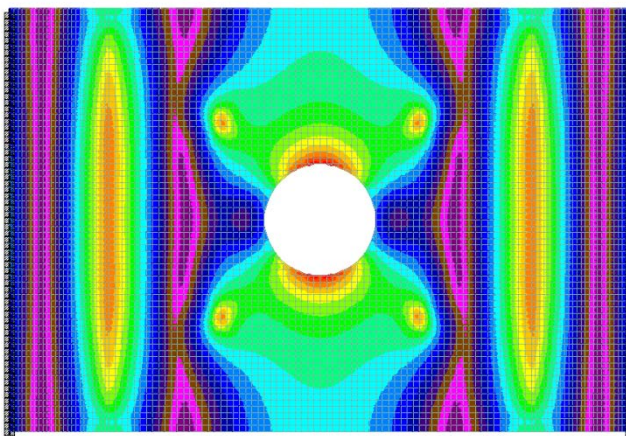
Kaip matome pagal gautus duomenys didžiausi įtempiai susidaro ties skyle plieninėje spraustasienėje, mažesni įtempiai ties plieninės plokštelės atraminėmis vietomis. Pagal atliktus skaičiavimus galima išskirti dviejų tipų įtempių koncentracijų pasiskirtymus. Pirmu atveju, kai plokštelės ilgis nuo 100mm iki 180mm (27 pav.), didžiausi įtempiai susidaro ties skyle ir truputį mažesni ties plokštelės kampais.



27 pav. Įtempių pasiskirstymas spraustasienėje, kai plokštelių ilgis nuo 100 iki 180mm.

(Šaltinis: Šaltinis: sudaryta autoriaus su STAAD pro programa)

Antruoju atveju, kai plokštelės ilgis nuo 190 mm iki 250 mm (28 pav.), didžiausi įtempiai susidaro ties skyle ir truputį mažesni ties plokštelės kraštinėmis. Šiuo atveju plokštelė perduoda apkrovą savo išilginėmis kraštinėmis. Kadangi plokštelė apkrovą perduoda kampais arba savo kraštais, galiu teigti, kad ji nesideformuoja nuo veikiančios apkrovos ir išlieka standi. Atlikus skaičiavimus buvo pastebėta, kad nėra naudinga naudoti didesnę plokštelės ilgį kaip 210 mm, nes įtempiai spraustasienėje nebemažėja.



28 pav. Įtempių pasiskirstymas spraustasienėje, kai plokštelių ilgis nuo 180 iki 250mm.

(Šaltinis: Šaltinis: sudaryta autoriaus su STAAD pro programa)

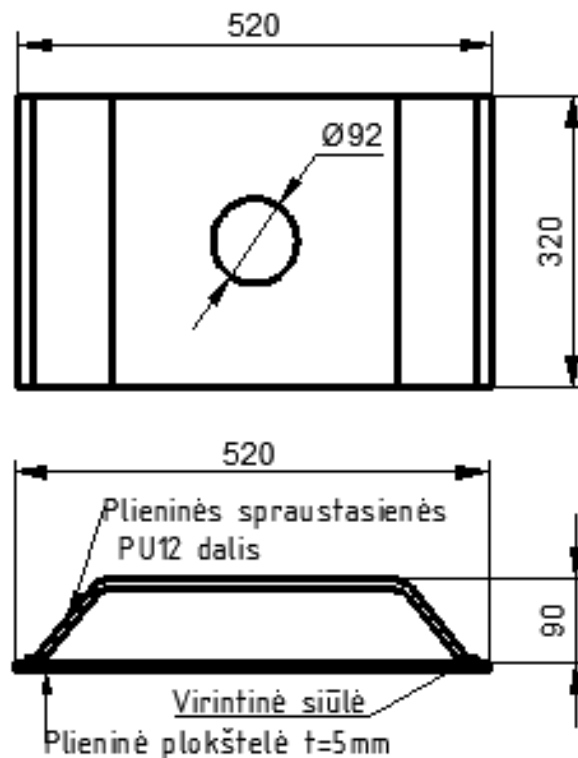
Pagal gautus duomenis matosi, kad didžiausi įtempiai susidaro sprastasienės centre ties skyle. Atsižvelgiant į didžiausių įtempių vietas, galima teigti, kad sprastasienės elementas yra lenkimamas.

2.2 Laboratorinis bandymas

Bandymas atliekamas gniuždymo aparatu Zwick/Roell Z3000. Šis įrenginys gali gniuždyti maksimalia 3000kN gniuždymo jėga, maksimalūs bandinio matmenys 320mm x 520mm, o aukštis 820mm . Aparo darbinis slėgis 303 bar. Rezultatų įrašymo dažnis 50Hz.

Pagal skaitmeniniame modelyje išanalizuotą įtempių pasiskirstymą plieninėje sprastasienėje pasirinkau atlikti bandymus su plieninėmis plokštelėmis, kurių matmenys 160x160x30 mm ir 160x210x30 mm. Laboratoriniams bandymams naudojami elementai:

- Plieninės sprastasienės PU-12 nupjauta dalis 320 mm x 500 mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92 mm diametro skyle viduryje. (4 vienetai) (29 pav.).

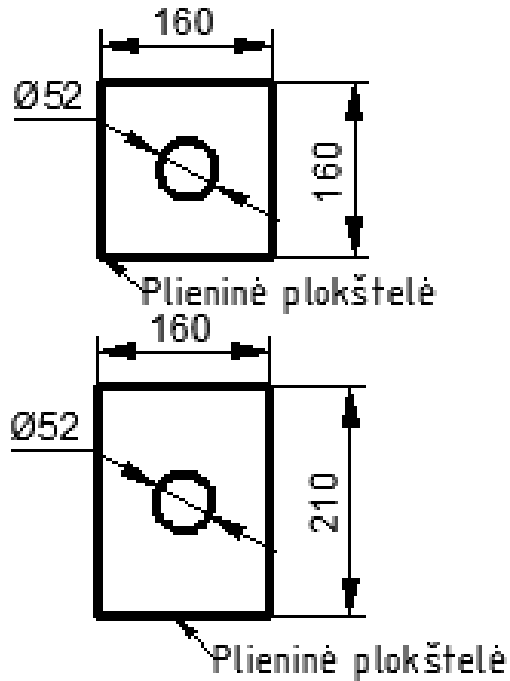


29 pav. Plieninės sprastasienės PU-12 nupjauta dalis

(Šaltinis: sudaryta autoriaus su AUTOCAD programa)

- S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x160x30 mm su 52mm diametro skyle viduryje (2 vienetai) (30 pav.)

- S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x210x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje (2 vienetai) (30 pav.)
- Veržlė M36 (4 vienetai)
- Poveržlė M36 (4 vienetai).



30 pav. S235 plieno klasės plieninės plokštelės 160x160x30 ir 160x210x30 mm

(Šaltinis: sudaryta autoriaus su AUTOCAD programa)

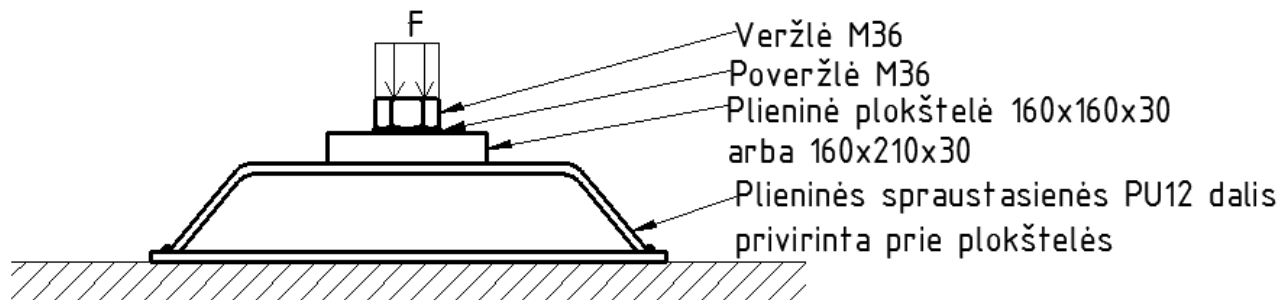
Iš turimų bandinių elementų sudariau du bandinio komplektus po du vienetus, kuriuos sudaro:

1. Plieninės spraustasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x160x30 mm su 52mm diametro skylė, veržlė M36 ir poveržlė M36.
2. Plieninės spraustasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x210x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje, veržlė M36 ir poveržlė M36.

Visi bandinio elementai tarpusavyje nejungiami, jie tiesiog pastatomi vienas ant kito (31 pav.).

Paruoštas bandinys įstatomas į gniuždymo aparatą ir apkraunamas jėga F (27 pav.), jėgos pridėjimo greitis 1kN/s. Bandinio apkrovimo jėga F neribojama. Bandinio metu siekiu patikrinti, ar pagal apskaičiuotus įtempius bandinyje prasidės plastinės deformacijos ir ar elementas plastiškai suirs. Pagal skaičiavimus bandiniuose su plokštelėmis, kurių matmenys 160x210x30, plastinės deformacijos

turi prasidėti nuo 80 kN apkrovimo jėgos, o bandiniuose su plokštelėmis, kurių matmenys 160x160x30, ties 50kN jėga.



31 pav. Bandinio schema

(Šaltinis: sudaryta autoriaus su AUTOCAD programa)

Bandymai buvo atliekami tokia tvarka:

1 bandinys - Plieninės sprausiasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x210x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje, veržlė M36 ir poveržlė M36.

2 bandinys - Plieninės sprausiasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x210x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje, veržlė M36 ir poveržlė M36.

3 bandinys - Plieninės sprausiasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x160x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje, veržlė M36 ir poveržlė M36.

4 bandinys - Plieninės sprausiasienės PU-12 nupjauta dalis 320mm x 500mm privirinta prie plieninės plokštelės 520x320 mm su 92mm diametro skylė viduryje. S235 plieno klasės plieninė plokštelė 160x160x30 mm su 52mm diametro skylė viduryje, veržlė M36 ir poveržlė M36.

Dėl gniuždymo aparato įrašymo dažnio, atlikus bandymus buvo gauta daug rezultatų, todėl juos sugrupavau keičiant apkrovą kas 10kN. Kadangi 1 ir 2 bei 3 ir 4 bandiniai yra vienodi, todėl juos sugrupuoju (7 ir 8 lentelės).

7 lentelė. 1 ir 2 bandinio deformacijos

Apkrova KN	Maksimalios deformacijos mm	
	1 bandinys	2 bandinys
10	0,37	0,42
20	0,94	0,96
30	1,58	1,64
40	2,29	2,31
50	3,02	3,05
60	3,71	3,68
70	4,45	4,42
80	5,28	5,23
80	7,62	7,76
80	14,64	14,77
70	22,21	22,27
60	31,85	32,09
50	45,06	46,05

8 lentelė. 3 ir 4 bandinio deformacijos

Apkrova KN	Maksimalios deformacijos mm	
	3 bandinys	4 bandinys
10	0,50	0,53
20	1,01	1,05
30	1,50	1,54
40	2,02	2,04
50	2,61	2,65
50	5,52	5,68
50	10,56	10,68
50	18,55	19,05
40	26,69	27,85
30	37,75	38,80

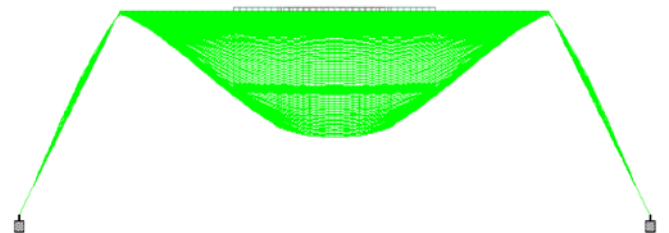
Apkrovus pirmą ir antrą bandinius 80kN jėga, o trečią ir ketvirtą bandinius 50 kN jėga, plieninės spraustasienės elemente prasidėjo plastinės deformacijos, o tai reiškia, kad elemente veikiantys įtempiai pasiekė plieno takumo ribą t.y toliau nebedidinat apkrovos deformacijos didėjo.

Kaip matome laboratoriniame bandinyje (32 pav. a) ir skaitmeniniame modelyje (32 pav. b) buvo gautas analogiškas plieninės spraustasienės deformacijų pobūdis.

a)



b)



32 pav. Suiręs laboratorinis bandinys (a) ir skaitmeninio modelio deformacijos (b)

Remiantis deformacijų pobūdžiu ir gautais rezultatais galiu teigti, kad dėl didelių įtempių ties skyde plieninės sprausstadienės elemente susidaro plastinis šarnyras ir elementas sulinksta t.y elemente įvyko grynasis lenkimas. Kadangi plieninė plokštelė nesideformavo, todėl galima teigti, kad įtempiai veikiantys plokštelėje yra daug mažesni už veikiančius sprausstasienės elemente. Remiantis Paulauskas J., Kvedaras A., (1977, 13 p.) metalinėse konstrukcijose negalimos plastinės deformacijos, nes pakinta konstrukcijų būseną ir nebegalima tiksliai prognozuoti jos darbo. Beto skaičiavimo programa Staad.Pro nagrinėja medžiagas kaip visiškai tamprias t.y nenagrinėja plastinių deformacijų. Todėl lyginant rezultatus, naudoju tik duomenis iki plastinių deformacijų pradžios. Bandinių ir skaitmeninio modelio rezultatų palyginimas pateikiamas 9 ir 10 lentelėse.

9 lentelė. Bandymas su plokšte 160x210x30

Apkrova kN	Maksimalios deformacijos mm				Paklaida tarp Bandinių vidurkio ir skaitmeninio modelio %
	1 bandinys	2 bandinys	Bandinių vidurkis	Skaitmeninis modelis	
10	0,37	0,42	0,40	0,41	3,66
20	0,94	0,96	0,95	0,96	1,04
30	1,58	1,64	1,61	1,63	1,23
40	2,29	2,31	2,30	2,33	1,29
50	3,02	3,05	3,04	3,06	0,82
60	3,71	3,68	3,70	3,72	0,67
70	4,45	4,42	4,44	4,45	0,34
80	5,28	5,23	5,26	5,29	0,66

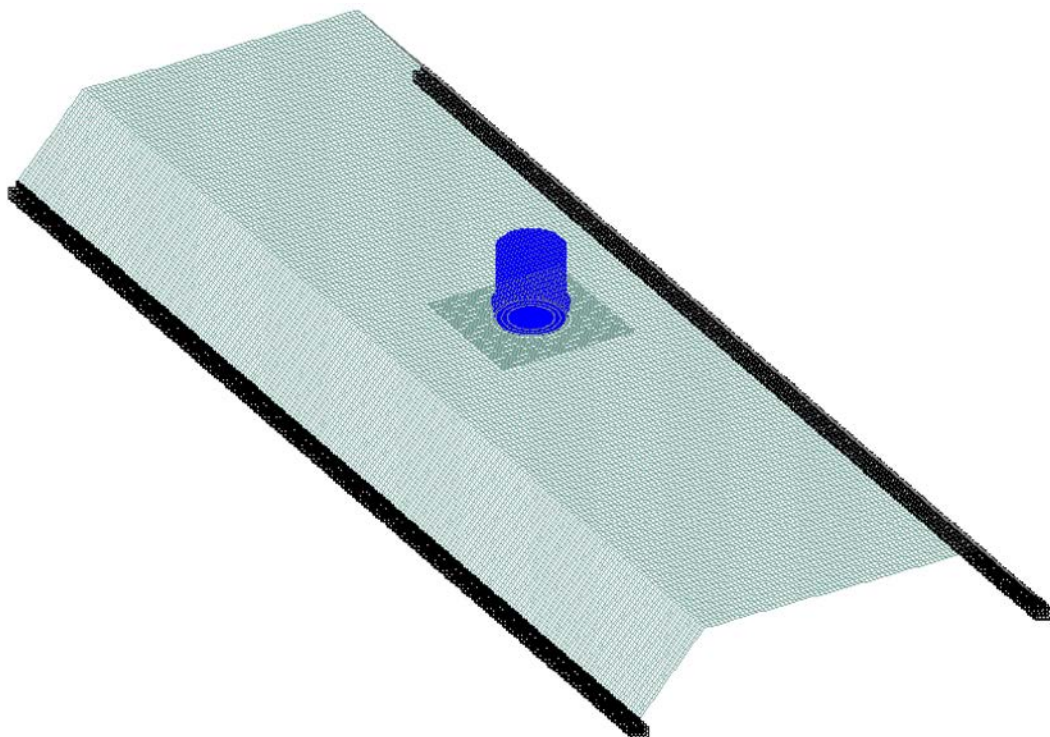
10 lentelė. Bandymas su plokšte 160x160x30

Apkrova kN	Maksimalios deformacijos mm				Paklaida tarp Bandinių vidurkio ir skaitmeninio modelio %
	3 bandinys	4 bandinys	Bandinių vidurkis	Skaitmeninis modelis	
10	0,50	0,53	0,52	0,52	0
20	1,01	1,05	1,03	1,04	0,96
30	1,50	1,54	1,52	1,56	2,56
40	2,02	2,04	2,03	2,08	2,40
50	2,61	2,65	2,63	2,67	1,50

Sulyginus deformacijas tarp laboratorinių bandinių ir skaitmeninių modelių gauta didžiausia paklaida 3,66%. Kadangi skirtumas nėra reikšmingas, todėl darome išvadą, kad skaitmeninis modelis atitinka laboratorinius bandinius. Kadangi deformacijos yra proporcingas dydis įtempiams, galiu teigti kad bandiniuose susidarė analogiški įtempiai, kaip ir apskaičiuoti skaitmeniniu modeliu

2.3 Skaitmeninio modelio analizė

Pagal anksčiau aprašytą skaitmeninį modelį sudarau realaus dydžio spraustasienės elemento apkrauto inkaro įtempimo jėga skaičiuojamą schema (33 pav). Spraustasienės elemento ilgis 1,5m. Spraustasienės elementas pagamintas iš plieno S430 GP. Kadangi, kaip minėta anksčiau, ; nagrinėjama krantinė sukalta iš elementų grupių, todėl jungtis tarp elementų priimu standžias.



33 pav. Realaus dydžio spraustasienės elemento apkrauto inkaro įtempimo jėga skaičiuojamoji schema

(Šaltinis: sudaryta autoriaus STAAD.Pro programa)

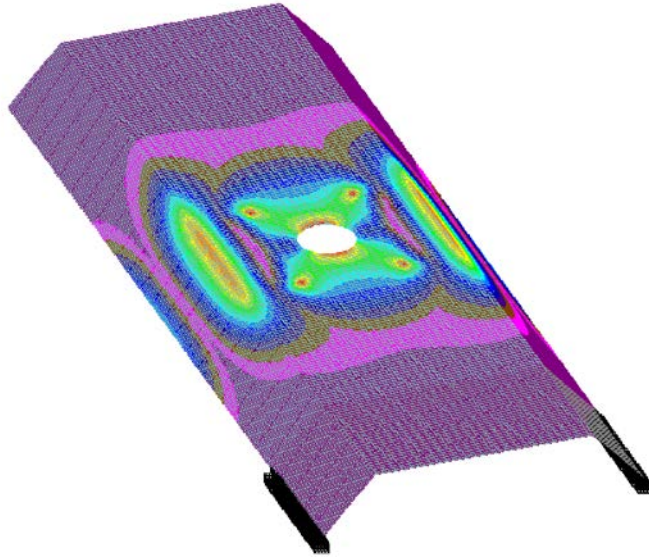
Realaus dydžio skaitmeniniame modelyje nagrinėju analogiškus atvejus, kaip ir sumažintame modelyje t.y plokštelių matmenys nuo 100mmx100m iki 250mmx250mm, plokštelių storis 30mm. Nagrinėjamos inkaro įtempimo apkrovos nuo 10kN iki 150kN. Siekiant palyginti gautus realaus dydžio skaitmeninio modelio rezultatus su sumažintu modeliu pateikiu duomenis, kai plokštelių plotis 160mm.

Duomenys pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Didžiausių įtempių reikšmės sprastasiene elemente

Ilgis mm/ Apkrova`	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
10KN	88	86	83	81	79	78	77	75	73	71	69	66	66	66	66	66
20KN	175	173	166	161	158	156	154	150	146	142	138	131	131	131	131	131
30KN	263	260	249	242	237	235	230	226	218	213	207	196	196	196	196	196
40KN	350	346	332	322	316	311	307	299	292	284	276	262	262	262	262	262
50KN	449	444	426	413	395	390	386	375	364	355	345	336	336	336	336	336
60KN	526	519	499	483	475	468	461	449	438	426	414	393	393	393	393	393
70KN	613	606	582	564	554	546	537	525	510	496	482	458	458	458	458	458
80KN	701	692	665	644	632	624	614	601	584	567	551	523	523	523	523	523
90KN	788	779	748	725	711	702	691	675	657	639	622	589	589	589	589	589
100KN	876	865	831	805	790	780	768	749	730	709	690	654	654	654	654	654
110KN	964	952	914	885	868	858	844	824	803	781	759	720	720	720	720	720
120KN	1051	1038	997	966	948	937	921	900	876	853	827	789	789	789	789	789
130KN	1139	1125	1080	1046	1027	1014	988	976	949	923	897	855	855	855	855	855
140KN	1227	1211	1163	1127	1106	1092	1075	1051	1022	993	966	920	920	920	920	920
150KN	1314	1298	1247	1207	1186	1170	1151	1126	1094	1064	1034	986	986	986	986	986

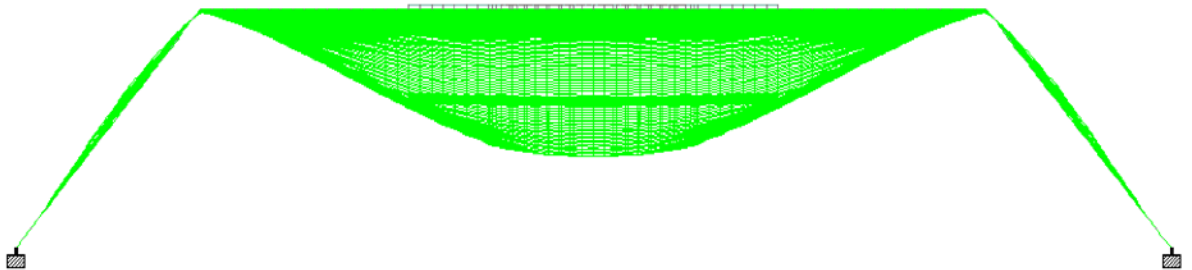
Gauti realaus dydžio ir sumažinto skaitmeninių modelių rezultatai labai nesiskiria. Pagrindinis skirtumas tas, kad nebuvo gautas įtempių pasiskirstymo variantas, kai įtempiai susidaro ties plokštelės kraštinėmis. Todėl galiu teigti, kad įtempių koncentracijos ties plokštelių kraštais susidarė dėl per mažo bandinio ilgio. Atlikus skaičiavimus pastebėta, kad visais atvejais gauti maksimalūs įtempiai yra ties skyle, o ties plokštelės kampais mažesni (34 pav). Kadangi plokštelių kraštuose susidaro įtempių koncentracijos, galiu teigti, kad plokštelė nesideformuoja. Didžiausi įtempiai ties skyle susidaro, dėl skerspjūvio sumažėjimo.



34 pav. Įtempių pasiskirstymas realaus dydžio spaustasienės elemente

(Šaltinis: sudaryta autoriaus STAAD.Pro programa)

Apskaičiuotas deformacijų pobūdis atitinka gautus atliekant laboratorinį pobūdį ir apskaičiuotus pagal sumažinta skaitmeninį modelį. (34 pav). Kadangi įtempių pasiskirstymas ir deformacijų pobūdis (35 pav.) atitinka laboratorinius bandymus, galiu teigti, kad realaus dydžio elementas suyra analogiškai laboratoriniams bandymams t.y sprautasienės elemento centre dėl didelių įtempių susidaro plastinis šarnyras ir elementas plastiškai suyra.



35 pav. Deformacijų pobūdis realaus dydžio sprautasienės elemente

(Šaltinis: sudaryta autoriaus STAAD.Pro programa)

Tyrimo apibendrinimas

Tyrimas buvo atliktas naudojant plieninę spraustasienę, pagamintą iš plieno S430 GP, kurio minimali takumo riba F_y lygi 480Mpa. Tyrimo eigoje nustaciau, kad maksimalūs įtempiai ir deformacijos susidaro ties elemete esančia skyle. Viršijus plieno takumo įtempius, elemente atsiranda plastinės deformacijos, dėl kurių elemento centre susidaro plastinis šarnyras, ko pasekoje elementas plastiškai suyra. Apibendrinus realaus spraustasienės elemento skaitmeninio modelio rezultatus galiu suformuluoti tokias rekomendacijas:

- Jeigu jėga viršija 30kN, negalima naudoti mažesnių plokštelių nei 140x140x30.
- Naudoti plokšteles didesnes nei 210x210x30mm nera ekonomiška, nes įtempiai spraustasienėje nemažėja
- Plieninės spraustasienės elementas, gali atlaikyti didžiausia jėga -150kN, kai naudojama plokštelė 210x210x30.
- Didinti plokštelės plotį yra gaunami geresni rezultatai negu didinant ilgį.

IŠVADOS

1. Išnagrinėjus krantines iš plieninių spraustasielių galima išskirti keturias pagrindines jų gamyboje naudojamas medžiagas - medis, gelžbetonis, plastikas ir plienas.
2. Krantines iš plieninių spraustasielių pagal skaičiavimo metodikas galima suskirstyti į gembines ir įtvirtintas inkarais.
3. Projektuojant krantines iš spraustasielių elementų būtina patikrinti keturis pagrindinius suirimo atvejus: irimas dėl sienos ar jos dalies pasisukimo ir slinkimo; irimas dėl vertikalios pusiausvyros netekimo; visuotinio stabilumo praradimas; konstrukcinių elementų arba jų jungčių suirimas.
4. Didžiausią įtaką krantinių iš spraustasielių skerspjuviui daro veikiančios apkrovos, elemento ilgis ir geologinės sąlygos.
5. Kadangi gautų rezultatų tarp skaitmeninio modelio ir laboratorinio bandymo skirtumas neviršija 5 proc., todėl galima teigti, kad šis skirtumas nėra reikšmingas.
6. Pagal atliktus skaičiavimus su plienine spraustasiene PU-12 S460GR nustatyta, kad kai inkaro įtempimo jėga viršija 30kN, negalima naudoti mažesnių plokštelių nei 140x140x30 mm. Be to naudoti plokšteles didesnes nei 210x210x30mm nėra ekonomiškai, nes įtempiai spraustasieneje nemažėja. Optimaliausias rezultatas gaunamas tuomet, kai naudojama plokštelė, kurios matmenys 210x210x30, tuomet plieninės spraustasiens elementas gali atlaikyti 150kN jėgą neprasidedant plastinėms deformacijoms. Didinant plokštelės plotį yra gaunami geresni rezultatai negu didinant ilgį.

LITERATŪRA

1. Arcelor Mittal piling handbook 8th edition [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://sheetpiling.arcelormittal.com/uploads/files/ArcelorMittal%20Piling%20Handbook_rev08.pdf>.
2. Byfield M.P., Mawer R. W. 2004. Analysis of reduced modulus action in U-section steel sheet piles. Journal of Constructional Steel Research, Nr. 60, 401–410 p.
3. Crossman M., Simm J. 2004. Manual on the use of timber in coastal and river engineering. Londonas: Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd.
4. Day R.W. 1999. Geotechnical and Foundation Engineering: Design and Construction. New York: McGraw-Hill Professional.
5. El Nagar M. 2010. Enhancement of steel sheet-piling quay walls using grouted anchors. Journal of Soil Science and Environmental Management, Nr. 1(4), 69-76 p.
6. Eskandari L., Kalantari B. Basic Types of Sheet Pile Walls and Their Application in the Construction Industry [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ejge.com/2011/Ppr11.099/Ppr11.099arl.pdf>>.
7. Katkevičius.L, Baublys.R. 2008. Vandens kelių, krantinių ir prielaukų statyba. Kaunas: Ardiva.
8. LST EN 1537. Specialiųjų geotechnikos atlikimo atlikimas. Gruntiniai inkarai.
9. LST EN 10248-1:2000. Nelegiruotųjų plienų karštai valcuotų lakštų paketai. 1 dalis. Techninės tiekimo sąlygos.
10. Merifield R. S., Lyamin A.V, Sloan S. W. and et. 2003. Three-Dimensional Lower Bound Solutions for Stability of Plate Anchors in Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering . No. 03/2003, 243-253 p.
11. Natário. P, Silvestre. N., Camotim. D. 2014. Computational modelling of flange crushing in cold-formed steel sections. Thin-WalledStructures, Nr. 84, 393–405 p.
12. Off-centre anchoring of AZ sheet pile walls. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://sheetpiling.arcelormittal.com/uploads/files/0bdba905dd0d85286315d67d8cf9f634.pdf>>
13. Paulauskas J., Kvedaras A. 1997. Metalinės konstrukcijos. Vilnius: Mokslas.
14. Recommendations of the Committee for waterfront Structures harbours and waterways EAU 1990.1992. Berlynas: Erns & Sohn.

15. Rhodes J., Nash D. 1998. An investigation of web crushing behaviour in thin-walled beams. *Thin-Walled Structures*, Nr. 32, 207–230 p.
16. Sheet piling handbook design [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: http://www.thyssenkrupp-baltija.com/download/sheet_piling_handbook_design.pdf.
17. Sivakumar Babu G.L., Munwar Basha B. 2008. Optimum design of cantilever sheet pile walls in sandy soils using inverse reliability approach. *Computers and Geotechnics*, Nr. 35, 134–143 p.
18. Sližytė D., Medzvieckas J., Mackevičius R. 2012. *Pamatai ir pagrindai*. Vilnius: Technika.
19. ThyssenKrupp GfT Bautechnik. Sheet piling handbook. Germany.
20. Walraven J. C. 2009. High performance fiber reinforced concrete: progress in knowledge and design codes. *Materials and structures*, No. 42:1247.
21. Warrington Don C. Anchored Sheet Pile Wall Analysis Using Fixed End Method Without Estimation of Point of Contraflexure. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. kovo 26 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vulcanhammer.info/soils/fixed-end/Fixed-End-Method.pdf>
Naudota programinė įranga:
 1. Autocad
 2. STAAD.Pro