



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Gelžbetoninių besijų perdangų praspaudimo analizė

Baigiamasis magistro projektas

Arnoldas Straukas

Projekto autorius

doc. Mindaugas Augonis

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Gelžbetoninių besijų perdangų praspaudimo analizė

Baigiamasis magistro projektas

Statybos inžinerija (6121EX008)

Arnoldas Straukas

Projekto autorius

doc. Mindaugas Augonis

Vadovas

asist. Deividas Martinavičius

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Arnoldas Straukas

Gelžbetoninių besijų perdangų praspaudimo analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Arnoldas Straukas

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GAMINIŲ INŽINERIJA

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):

GELŽBETONINIŲ ELEMENTŲ STANDUMO ANALIZĖ ĮVERTINANT TEMPIAMO BETONO
DARBĄ

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.: ST18-F-09-3

(lietuvių k.):

GELŽBETONINIŲ BESIŲ PERDANGŲ PRASPAUDIMO ANALIZĖ

(anglų k.):

PUNCHING ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FLAT SLABS

Pradiniai duomenys darbui:

--

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Analitiniai tyrimai	x
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį):

--

Vadovas:

(indėlis 100 %)

doc. Mindaugas Augonis

*pareigos, vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu*

Studentas:

Arnoldas Straukas

*vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu*

Straukas, Arnoldas. Gelžbetoninių besijų perdangų praspaudimo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Mindaugas Augonis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: praspaudimas, santvaros metodas.

Kaunas, 2022. 63 p.

Santrauka

Darbo tikslas – pritaikyti santvaros metodą perdangos plokštės praspaudimui skaičiuoti ir gautus rezultatus palyginti su įvairių projektavimo normų ir eksperimentinių bandinių rezultatais.

Darbą sudaro: įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

Darbo apimtis: 7 lentelės, 24 paveikslai, 27 literatūros šaltiniai, 5 priedai.

Straukas, Arnoldas. Punching Analysis of Reinforced Concrete Flat Slabs. Master's Final Degree Project / supervisor doc. Mindaugas Augonis; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05).

Keywords: punching, Truss method.

Kaunas, 2022. 63 p.

Summary

Project aim – apply Truss method to analyse punching of reinforced concrete flats slabs and compare calculation results to various design codes and experimental test results.

Work consists: introduction, 3 chapters, conclusion, bibliographical entires, annexes.

Scope of work: 7 tables, 24 figures, 27 bibliographical entries, 5 annexese.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal EC2.....	12
1.2. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal STR 2.05.05:2005	14
1.3. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal ACI318-2019.....	15
1.4. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal SNIp 2.03.01-84*	18
1.5. Plokštės praspaudimo skaičiavimas taikant stygų ir spyrių metodą.....	20
1.6. Metodų palyginimas	22
2. Santvaros metodas perdangos plokščių praspaudimo skaičiavimuose	24
2.1. Pagrindiniai kintamieji dydžiai.....	24
2.2. β koeficientas.....	28
2.3. Gniuždomo spyrio stiprumas.....	28
2.4. Perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros	28
2.5. Perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinant skersinę armatūrą	30
3. Skaičiavimų rezultatai ir palyginimai	31
3.1. Teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai nevertinant lenkimo momento kolonoje	31
3.2. Teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai įvertinant lenkimo momentą kolonoje	34
3.3. Eksperimentiniai praspaudimo laikomosios galios tyrimai nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje	38
3.4. Eksperimentiniai praspaudimo laikomosios galios tyrimai įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje	45
Išvados	51
Literatūros sąrašas	52
Priedai.....	54
1 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal ACI318.....	54
2 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal EC2.....	56
3 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal STR	58
4 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal S.M.	60
5 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal SNIp	62

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant lenkimo momento kolonoje duomenys.....	31
2 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant lenkimo momento kolonoje rezultatai	31
3 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų įvertinant lenkimo momento kolonoje duomenys.....	35
4 lentelė. Eksperimentinių praspaudimo laikomosios galios tyrimų nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje duomenys ir rezultatai	39
5 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje palyginimo rezultatai.....	41
6 lentelė. Eksperimentinių praspaudimo laikomosios galios tyrimų įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje duomenys ir rezultatai	46
7 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje palyginimo rezultatai	47

Paveikslų sąrašas

1 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal EC2 [1]	12
2 pav. Tipinės β koeficiento reikšmės pagal EC2 [1]	13
3 pav. Išorinių praspaudimo perimetrų schemas pagal EC2 [1]	14
4 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal STR 2.05.05:2005 [2].....	15
5 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal ACI318 [3, 6]	15
6 pav. Praspaudimo perimetrai pagal ACI318 [3]	18
7 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal SNiP 2.03.01-84* [11]	19
8 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema taikant stygų ir spyrių metodą [4].....	20
9 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema įvertinant skersinę armatūrą, taikant stygų ir spyrių metodą [4].....	21
10 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema taikant santvaros metodą.....	26
11 pav. Praspaudimo išorinio perimetro schema taikant santvaros metodą.....	29
12 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,max}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)	32
13 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,c}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)	33
14 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,s}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)	33
15 pav. Skaičiuojamasis modelis	35
16 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,c}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (vertinamas lenkimo momentas kolonose).....	37
17 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,s}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (vertinamas lenkimo momentas kolonose).....	37
18 pav. Perdangos plokščių be skersinės armatūros bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas	44
19 pav. Gniuždomo spyrio suirimas (suirimo sutartinis žymėjimas - Max).....	46
20 pav. Suirimas per skersinę armatūrą (suirimo sutartinis žymėjimas - In).....	46
21 pav. Suirimas už skersinės armatūros per betoną (suirimo sutartinis žymėjimas - Out)	46
22 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas, kai plokštės suirinimas vyksta už skersinės armatūros per betoną (Out)	48
23 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas, kai plokštės suirinimas vyksta per skersinę armatūrą (In).....	49
24 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių irties vietų sutapimų suverstinė	49

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Asist. – asistentas.

Terminai:

S.M. – santvaros metodas;

EC2 – Eurokodas 2;

STR – statybos techninis reglamentas (lietuvių projektavimo normos);

ACI, ACI318 – amerikiečių projektavimo normos;

SNiP – rusų projektavimo normos.

Įvadas

Šiuolaikinėje pastatų architektūroje dažnai dominuoja didelės patalpų erdvės, aukštos lubos. Tam, kad tokios architektūrinės vizijos būtų įgyvendintos, konstrukcijų projektuotojams dažnai tenka pasirinkti monolitines besijęs perdangas, kurios yra tinkamiausias pasirinkimas norint pasiekti maksimalų patalpų aukštį. Projektuojant tokias perdangas, be stiprumo, pleišėtumo ir įlinkio sąlygų, būtina patikrinti papildomą praspaudimo sąlygą, kuri yra labai svarbi plokštei.

Įvairiose projektavimo normose [1, 2, 3, 11] yra pateiktos praspaudimo skaičiavimų išraiškos, kurias taikant, patikrinamos perdangos stiprumas praspaudimui ir suskaičiuojamas reikiamas skersinės armatūros kiekis (jeigu jis yra reikalingas). Taip yra parašytų straipsnių [4, 12], kuriuose ieškoma alternatyvų praspaudimo skaičiavimams. Straipsniuose pateikiamos autorių išvestos formulės, pagal kurias gauti skaičiavimų rezultatai yra palyginami su rezultatais, kurie gaunami skaičiuojant pagal projektavimo normose pateiktas formules. Taip pat teorinių skaičiavimų rezultatai yra palyginami ir su eksperimentiniais duomenimis, kurie yra gaunami atlikus realius praspaudimo bandymus [13, 14, 15, 16, 17, 18].

Šiame magistriniame darbe didelis dėmesys skiriamas santvaros metodui, kurį mėginama pritaikyti skaičiuojant perdangos plokštės stiprumą praspaudimui. Atlikus palyginamuosius skaičiavimus tarp naujai pritaikomo metodo, kitų projektavimo normų ir eksperimentinių bandinių rezultatų padarytos išvados apie skaičiavimo metodų skirtumus ir panašumus. Taip pat reziume padaroma išvada apie santvaros metodo pritaikymo galimybes projektuojant perdangos plokščių stiprumą praspaudimui.

Darbo tikslas: pritaikyti santvaros modelį (stygų ir spyrių metodą) praspaudimo skaičiavimuose ir gautus rezultatus palyginti su projektavimo normose pateiktų skaičiavimų rezultatais ir eksperimentiniais duomenimis.

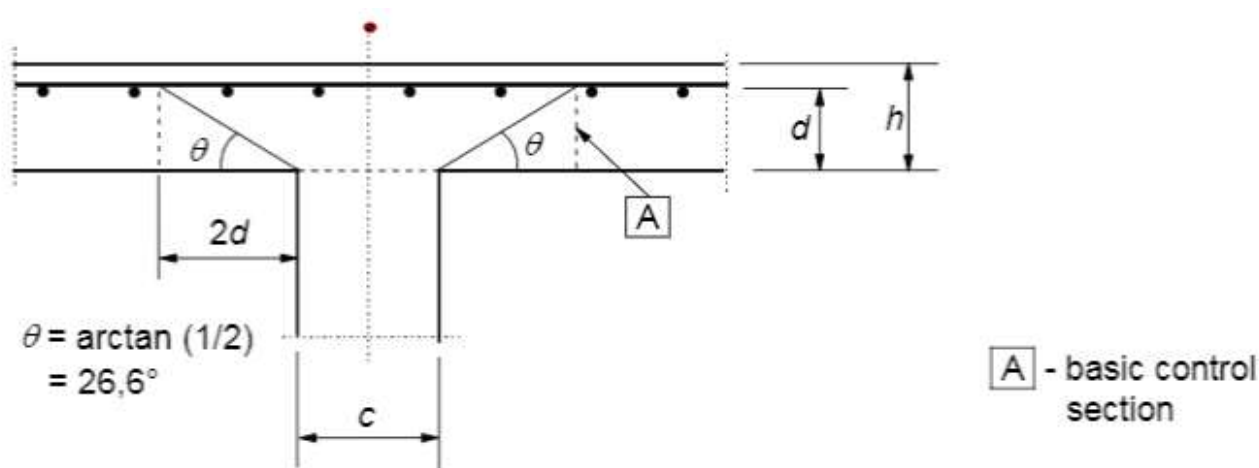
Darbo planas:

1. Literatūros (skaičiavimo metodikų) apžvalga ir palyginimas;
2. Santvaros metodo (S.M.) formulių pritaikymas plokštės praspaudimui skaičiuoti;
3. Teorinių praspaudimo galių palyginimas nevertinant lenkimo momento kolonoje;
4. Teorinių praspaudimo galių palyginimas įvertinant lenkimo momentą kolonoje;
5. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomųjų galių palyginimas nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje;
6. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomųjų galių palyginimas įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje;
7. Santvaros modelio (S.M.) rezultatų palyginimas ir išvada apie jo pritaikomumą praktikoje.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal EC2

Vadovaujantis EC2 normomis [1], betono plokštės praspaudimo laikomoji galia yra skaičiuojama pasirenkant, kad kritinis praspaudimo perimetras aplink koloną yra nutolęs $2d$ atstumu nuo jos. Yra teigiama, kad plokštės suirimo metu įstrižasis plyšys atsivers $26,6^\circ$ kampu (žr. 1 pav.).



1 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal EC2 [1]

EC2 pateikia tris pagrindines plokštės praspaudimo laikomąsias galias, pagal kurias yra nustatoma ar nagrinėjama plokštė tenkina saugos ribinio būvio reikalavimus:

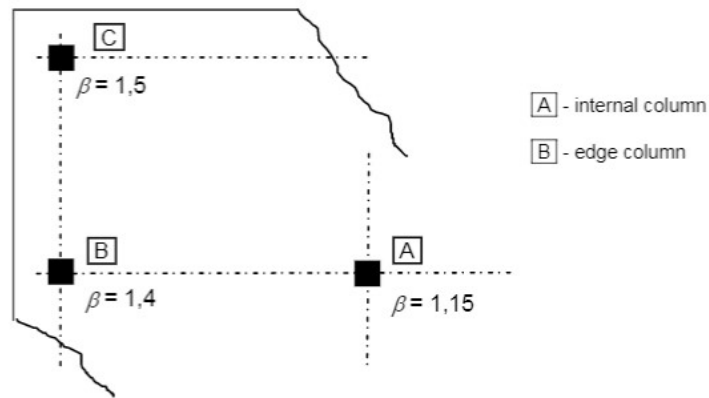
- $V_{Rd,c}$ – plokštės praspaudimo laikomoji galia be skersinės armatūros;
- $V_{Rd,cs}$ – plokštės praspaudimo laikomoji galia įvertinus skersinę armatūrą;
- $V_{Rd,max}$ – plokštės maksimali praspaudimo laikomoji galia.

Kiekviena iš šių apskaičiuotų ribinių reikšmių yra lyginama su šlyties įtempiais, kurie veikia aplink koloną tam tikru perimetru ir yra apskaičiuojami pagal (1.1) formulę:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} \quad (1.1)$$

- čia V_{Ed} – plokštę veikianti skersinė jėga ties kolona;
 u_i – skaičiuojamasis praspaudimo perimetras;
 β – koeficientas, įvertinantis netolygų šlyties įtempių pasiskirstymą;
 d – darbinis armatūros aukštis.

Didelę įtaką plokštės praspaudimo skaičiavimuose turi būtent anksčiau minėtas β koeficientas, kurį galima apskaičiuoti pagal veikiančias lenkimo momento ir skersinės jėgos įrašas nagrinėjamoje plokštėje, tačiau EC2 leidžia šio koeficiento neskaičiuoti ir atitinkamai jį pasirinkti pagal kolonos padėtį nagrinėjamos plokštės atžvilgiu (žr. 2 pav.). Jeigu nagrinėjama plokštė yra virš kolonos, kuri yra pastato centre, tai $\beta = 1,15$, jeigu kolona kraštinė – $\beta = 1,4$, kampinė – $\beta = 1,5$.



2 pav. Tipinės β koeficiento reikšmės pagal EC2 [1]

Turint tikslias įrašas veikiančias kolonoje, tikslų β koeficientą kvadratinei kolonai galima apskaičiuoti pagal (1.2) formulę:

$$\beta = 1 + \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} \quad (1.2)$$

čia M_{Ed} – kolonoje veikiantis lenkimo momentas;
 u_1 – skaičiuojamasis praspaudimo perimetras (nutolęs nuo kolonos 2 d atstumu);
 W_1 – koeficientas, kuris nustatomas pagal (1.3) formulę.

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (1.3)$$

čia c_1 – su apkrovos ekscentricitetu lygiagretus kolonos matmuo;
 c_2 – su apkrovos ekscentricitetu statmenas kolonos matmuo.

Plokštės maksimali praspaudimo laikomoji galia apskaičiuojama pagal (1.4) formulę:

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \geq v_{Ed0} \quad (1.4)$$

čia v_{Ed0} – plokštę veikiantys šlyties įtempiai ties kolonos perimetru;
 v – supleišėjusio betono stiprio mažinimo koeficientas;
 f_{cd} – skaičiuotinis gniuždomasis betono stipris.

Ši sąlyga lemia plokštės naudojamumą, kadangi ji nurodo, kokius maksimalius šlyties įtempius gali atlaikyti plokštės betonas. Jeigu sąlyga netenkina, būtina storinti plokštę arba didinti betono klasę.

Betono praspaudimo galia be skersinės armatūros apskaičiuojama pagal (1.5) formulę:

$$v_{Rd,c} = \max(C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}; v_{min}) \geq v_{Ed1} \quad (1.5)$$

čia $C_{Rd,c}$ – koeficientas, kurį rekomenduojama pasirinkti 0,12;
 k – koeficientas, priklausantis nuo plokštės armatūros darbinio aukščio;
 ρ_l – nagrinėjamos plokštės tempiamos armatūros armavimo koeficientas;
 f_{ck} – charakteristinis betono gniuždomasis stipris;
 v_{min} – minimali betono praspaudimo laikomoji galia;
 v_{Ed1} – veikiantys šlyties įtempiai ties skaičiuojamuoju praspaudimo perimetru (2 d atstumu nuo kolonos).

Ši sąlyga lemia ar plokštei būtinas skersinis armavimas. Jeigu sąlyga netenkina, būtina plokštėje numatyti skersinę praspaudimo armatūrą aplink koloną.

Betono praspaudimo galia su skersine armatūra apskaičiuojama pagal (1.6) formulę:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot V_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \left(\frac{1}{u_1 \cdot d}\right) \geq v_{Ed1} \quad (1.6)$$

čia s_r – atstumas tarp išdėstytos skersinės armatūros perimetrų;

A_{sw} – skersinės armatūros kiekis viename perimetre aplink koloną;

$f_{ywd,ef}$ – skersinės armatūros tempiamasis stipris, kuris apskaičiuojamas pagal (1.7) formulę.

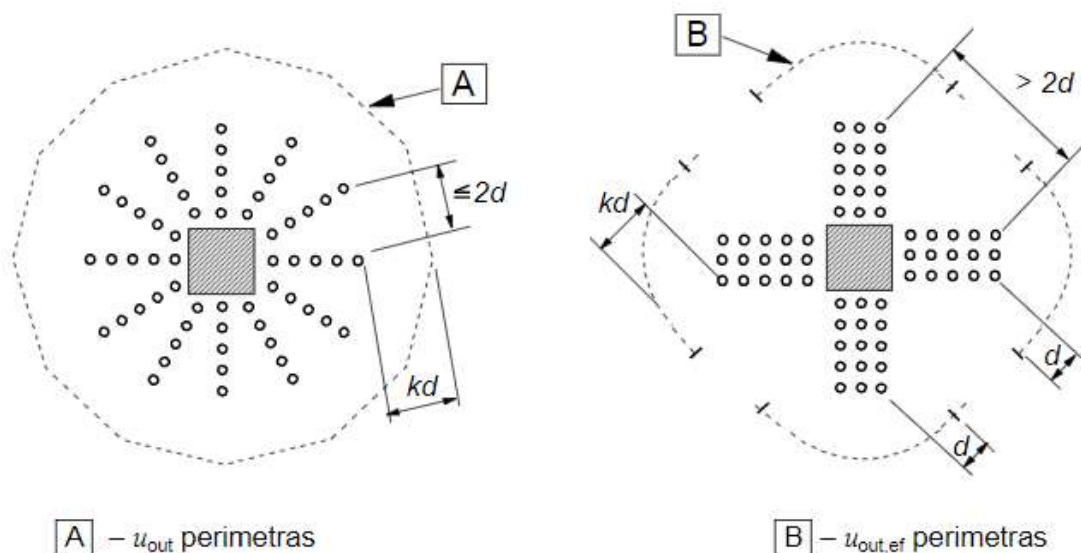
$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd} \quad (1.7)$$

Taip pat verta paminėti, jog vadovaujantis EC2 keitiniu A1 [27], maksimali betono praspaudimo laikomoji galia įvertinant skersinę armatūrą gali siekti tik $1,5 V_{Rd,c}$.

Jeigu pateikta sąlyga tenkina, reiškia, kad skersinės armatūros kiekis yra pakankamas atlaikyti veikiamą skersinę jėgą ties nagrinėjamu praspaudimo perimetru, nutolusiu $2d$ atstumu nuo kolonos.

Patikrinus visas sąlygas yra skaičiuojamas praspaudimo perimetras, ties kuriuo skersinės armatūros nebereikia (žr. pav. 3). Šis perimetras randamas pagal (1.8) formulę:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} \quad (1.8)$$



3 pav. Išorinių praspaudimo perimetrų schemas pagal EC2 [1]

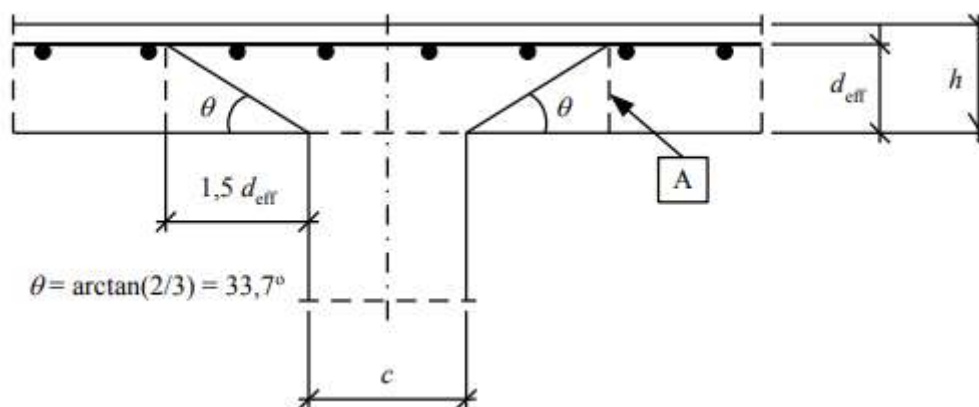
1.2. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal STR 2.05.05:2005

Betono praspaudimo laikomosios galios skaičiavimas vadovaujantis statybos techniniu reglamentu STR 2.05.05:2005 [2] yra beveik identiškas skaičiavimams pagal EC2 [1]. Pagrindinis skirtumas yra toks, kad kritinis praspaudimo perimetras aplink koloną yra nutolęs $1,5d$ atstumu nuo jos, iš kurio kyla tai, kad plokštės suirimo metu įstrižasis plyšys atsiveria $33,7^\circ$ kampu (žr. 4 pav.). Taip pat dėl

šio skirtumo, tikslaus β koeficiento formulėje esantis W_1 koeficientas apskaičiuojamas pagal šiek tiek kitokią (1.9) formulę. Visos kitos formulės pateiktos EC2 normose tinka ir projektuojant pagal STR.

Koeficientas W_1 , kuris reikalingas β koeficiento apskaičiavimui, apskaičiuojamas pagal (1.9) formulę:

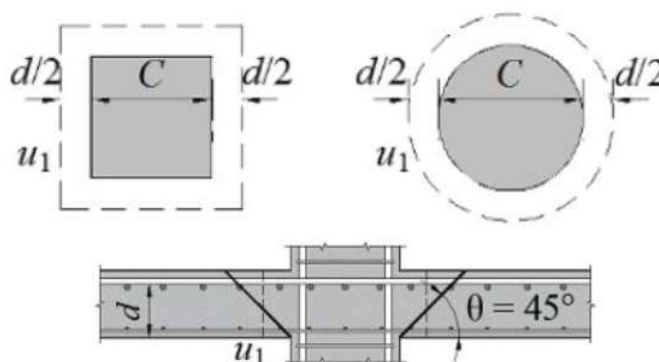
$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 3 \cdot c_2 \cdot d + 9 \cdot d^2 + 1,5 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (1.9)$$



4 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal STR 2.05.05:2005 [2]

1.3. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal ACI318-2019

Projektuojant pagal amerikiečių projektavimo normas ACI318 [3] yra taikomos kitokios empirinės formulės praspaudimo stipriui skaičiuoti lyginant su europinėmis projektavimo normomis [1, 2]. Pats plokštės irties principas išlieka toks pat, tačiau pateiktos skaičiavimų formulės ir praspaudimo kampas skiriasi. Skaičiuojant pagal ACI318 normas, plokštės kritinis praspaudimo perimetras nuo kolonos yra nutolęs $0,5 d$ atstumu. Įstrižojo plyšio atsivėrimo kampas pasirenkamas 45° (žr. 5 pav.).



5 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal ACI318 [3, 6]

ACI318 normose yra pateikta keletas apribojimų, kurie nurodo atitinkamas parametrų ribas. Charakteristinis betono gniuždomasis stipris praspaudimo skaičiavimuose maksimaliai gali būti pasirinktas 70 MPa. Taip pat maksimalūs skersinės armatūros įtempiai gali būti pasirenkami 420 MPa.

Amerikiečių normose beveik taip pat kaip ir europiečių, yra pateiktos trys pagrindinės plokštės praspaudimo stiprio formulės, pagal kurias nustatomas nagrinėjamos plokštės tinkamumas naudoti:

- v_c – plokštės praspaudimo laikomoji galia be skersinės armatūros;
- v_{c+V_s} – plokštės praspaudimo laikomoji galia įvertinus skersinę armatūrą;
- v_{nmax} – plokštės maksimali praspaudimo laikomoji galia naudojant skersinę armatūrą.

Sąlygų patikrinimui, pagal (1.10) formulę yra suskaičiuojami šlyties įtempiai veikiantys aplink koloną nagrinėjamo perimetru:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_0 \cdot d} \quad (1.10)$$

čia b_0 – kritinis praspaudimo perimetras.

Pastebima, kad šiose normose, kitaip nei prieš tai aptartose, skaičiuojant šlyties įtempius, nėra vertinama kolonos padėtis plokštės atžvilgiu.

Faktorius, kurį lemia darbinis armatūros aukštis, apskaičiuojamas pagal (1.11) formulę:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0,004 \cdot d}} \leq 1,0 \quad (1.11)$$

Betono ribiniai šlyties įtempiai, galima ties pagrindiniu skaičiuojamuoju perimetru, neįvertinant skersinės armatūros apskaičiuojami pagal (1.12) formulę:

$$v_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,33 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \\ (0,17 + \frac{0,33}{\beta}) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \\ (0,17 + \frac{0,083 \cdot \alpha_s \cdot d}{b_0}) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \end{array} \right. \geq v_{Ed} \quad (1.12)$$

čia λ_s – faktorius, kurį lemia darbinis armatūros aukštis;

λ – koeficientas priklausantis nuo betono rūšies (normaliajam betonui koeficientas pasienkamas – 1,0);

α_s – koeficientas, kuris parenkamas pagal nagrinėjamos kolonos padėtį plokštės atžvilgiu (40 – vidinė kolona, 30 – kraštinė kolona, 20 – kampinė kolona);

β – santykis, tarp ilgesniosios ir trumposios kolonos kraštinių;

f'_c – charakteristinis betono gniuždomasis stipris.

Matome, kad kitaip nei europiečių normose, čia pateikiamos trys lygtys, iš kurių gauta mažiausia ribinė reikšmė yra pasirenkama, kaip galutinė ir yra lyginama su plokštėje veikiančiais faktiniais šlyjamaisiais įtempiais. Taip pat verta paminėta, jog ACI318 normose, koeficientas, kuris įvertina nagrinėjamos kolonos padėtį plokštės atžvilgiu, yra įvertinamas vienoje iš anksčiau nurodytos sistemos formulių ir šis koeficientas yra pateiktas kaip nekintamas dydis, nepriklausomai nuo veikiančio lenkimo momento ir skersinės jėgos santykio.

Pagrindinė išraiška, pagal kurią apskaičiuojami ribiniai šlyties įtempiai, įvertinant skersinę armatūrą yra apskaičiuojami pagal (1.13) formulę:

$$v_n = v_c + v_s \geq v_{Ed} \quad (1.13)$$

Verta paminėti, jog ACI318 normose yra išskirti du armavimų tipai. Vienas iš armavimo tipų yra įprasta rumbuota armatūra, o kitas – galvelinės jungtys. Pagal naudojamą armavimo tipą yra atitinkamai naudojamos tam tikros formulės.

Pirmoji pagrindinės išraiškos dedamoji, jeigu naudojama įprasta rumbuota armatūra, apskaičiuojama pagal (1.14) formulę:

$$v_c = 0,17 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \quad (1.14)$$

Jeigu naudojamos galvelinės jungtys, tuomet ši dedamoji apskaičiuojama pagal (1.15) formulę:

$$v_c = \min \begin{cases} 0,25 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \\ 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \\ 0,083 \cdot \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_0}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \end{cases} \quad (1.15)$$

Antroji pagrindinės išraiškos dedamoji nepriklausomai nuo armavimo tipo apskaičiuojama pagal (1.16) formulę:

$$v_s = \frac{A_v \cdot f_{yt}}{b_0 \cdot s} \quad (1.16)$$

čia A_v – skersinės armatūros kiekis viename perimetre aplink koloną;

s – atstumas tarp išdėstytos skersinės armatūros perimetrų;

f_{yt} – skersinės armatūros tempiamasis stipris, kuris pasirenkamas maksimaliai 420 MPa.

Taip pat ACI318 normose yra pateikti maksimalūs leistini šlyties įtempiai praspaudimo zonoje pagal naudojamą armavimo tipą.

Maksimalūs leistini įtempiai betone naudojant įprastą rumbuotą armatūrą apskaičiuojami pagal (1.17) formulę:

$$v_{nmax} = 0,50 \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \geq v_{Ed} \quad (1.17)$$

Maksimalūs leistini įtempiai betone naudojant galvelnes jungtis apskaičiuojami pagal (1.18) formulę:

$$v_{nmax} = 0,66 \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \geq v_{Ed} \quad (1.18)$$

čia ϕ – skersinės armatūros skersmuo.

Iš normose pateiktų formulių galima teigti, jog įprastos rumbuotos armatūros stiprumas praspaudimo skaičiavimuose visada bus mažesnis nei naudojant galvelines jungtis.

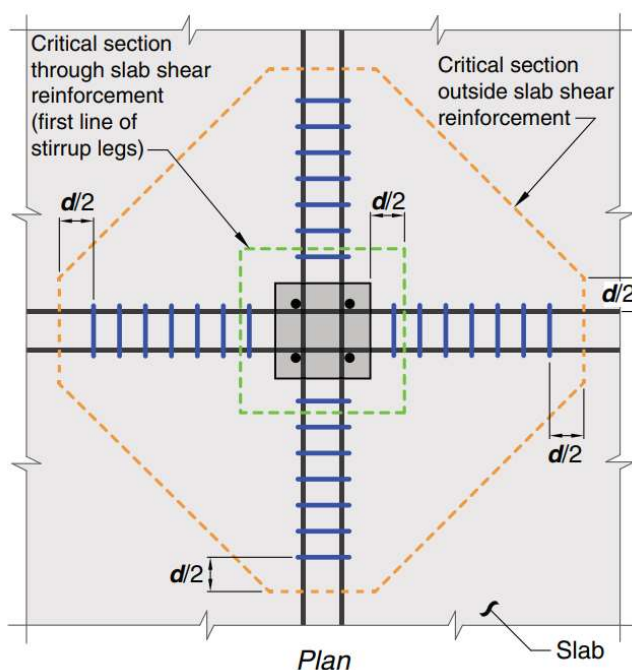
Lyginant europiečių normose [1, 2] pasirinktą skersinės armatūros tempiamąjį stiprį su šiose normose [3] pateiktu stipriu, matomas akivaizdus skirtumas. Nagrinėjant plokštę, kurios darbinis armatūros aukštis yra 160 mm, pagal EC2 ir STR normas, skersinės armatūros stipris būtų apskaičiuojamas 290 MPa, kai ACI318 leidžia naudoti 420 MPa. Šis armatūros stiprumo skirtumas siekia 30%.

Kaip ir prieš tai aptartose normose, patikrinus visas reikiamas stiprumo sąlygas ir gavus teigiamus rezultatus, pagal (1.19) formulę yra skaičiuojamas praspaudimo perimetras, ties kuriuo skersinė armatūra nėra reikalinga (žr. pav. 6):

$$b_{out.ef} = \frac{V_{Ed}}{v_{c,out} \cdot d} \quad (1.19)$$

čia $v_{c,out}$ – ribiniai šlyties įtempiai ties išorinių praspaudimo perimetru, ties kuriuo skersinės armatūros nėra apskaičiuojami pagal (1.20) formulę:

$$v_{c,out} = 0,17 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \quad (1.20)$$



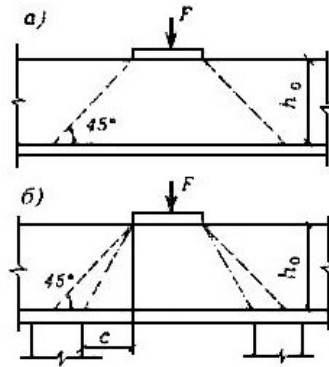
6 pav. Praspaudimo perimetrai pagal ACI318 [3]

1.4. Plokštės praspaudimo skaičiavimas pagal SNiP 2.03.01-84*

SNiP [11] ir STR [2] projektavimo normos turi daug panašumų, tačiau būtent praspaudimo skaičiavimas šiose normose yra skirtingas. SNiP normos, kaip ir prieš tai aptarti reglamentai, taiko trikampį irties principą, kurio kampas šiose normose yra pasirenkamas 45° . Pagal pateiktą kampą yra išskaičiuojamas pagrindinis skaičiavimų parametras, t.y. kritinių perimetrų aritmetinis vidurkis, kuris turi didelę įtaką skaičiavimo rezultatams.

Taip kaip ir kitose projektavimo normose [1, 2, 3], galima išskirti tris pagrindines sąlygas, kurios turi būti patikrintos:

- F_b – plokštės praspaudimo laikomoji galia be skersinės armatūros;
- $F_b + 0,8F_{sw}$ – plokštės praspaudimo laikomoji galia įvertinus skersinę armatūrą;
- $2F_b$ – plokštės maksimali praspaudimo laikomoji galia.



7 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema pagal SNiP 2.03.01-84* [11]

Skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė be skersinės armatūros, apskaičiuojama pagal (1.21) formulę:

$$F_b = \alpha \cdot R_{bt} \cdot u_m \cdot h_0 \geq F_{Ed} \quad (1.21)$$

Čia α – koeficientas, įvertinantis betono tipą (sunkiajam betonui – 1,0, smulkiagrūdžiui – 0,85, lengvajam – 0,80);

R_{bt} – betono tempiamasis stipris;

u_m – viršutinio ir apatinio piramidės, kuri susidaro praspaudimo metu darbo aukščio ribose, pagrindų aritmetinis vidurkis;

h_0 – darbinis armatūros aukštis;

F_{Ed} – veikianti skersinė jėga ties kolona.

Skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė su skersine armatūra, apskaičiuojama pagal (1.22) formulę:

$$F_s = F_b + 0,8 \cdot F_{sw} = F_b + 0,8 \cdot \sum R_{sw} \cdot A_{sw} \geq F_{Ed} \quad (1.22)$$

čia R_{sw} – skersinės armatūros tempiamasis stipris;

A_{sw} – skersinės armatūros kiekis, kertantis praspaudimo piramidės formuojama plyšį.

Formulės (1.22) antrasis sumos dėmuo F_{sw} negali būti mažesnis nei $0,5F_b$.

Maksimali skersinė jėga, kurią gali atlaikyti plokštė vertinant skersinę armatūrą, apskaičiuojama pagal (1.23) formulę:

$$F_{max} = 2F_b \quad (1.23)$$

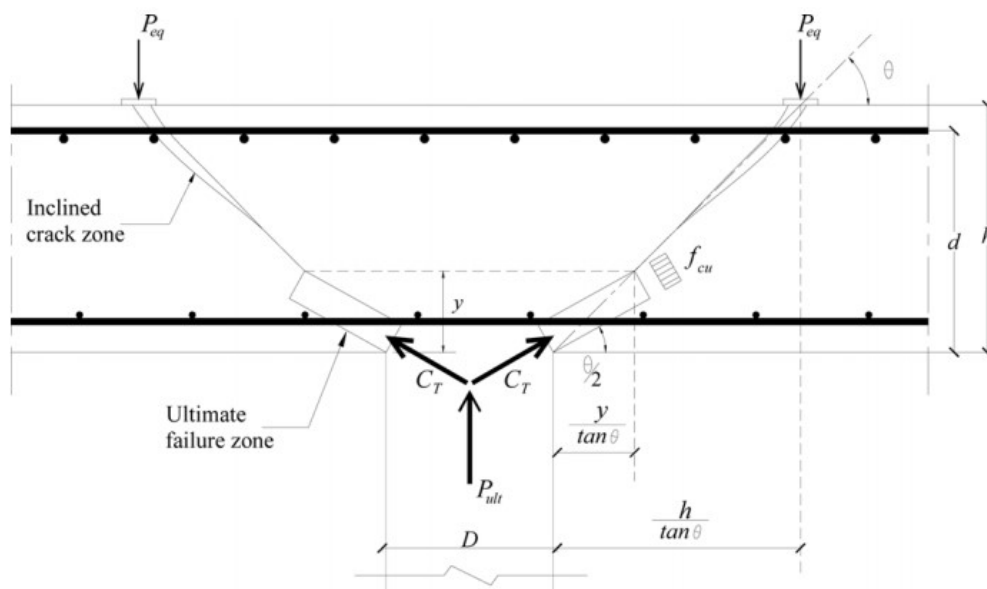
Skersinė armatūra aplink koloną išdėstoma taip, kad už paskutinės skersinės armatūros apkabos, plokštę veikianti skersinė jėga neviršytų ribinės skersinės jėgos, kuri apskaičiuojama nevertinant skersinės armatūros.

Iš SNiP normose pateiktų formulių matome, kad praspaudimo laikomajai galiai apskaičiuoti yra taikoma mažai kintamųjų lyginant su kitomis projektavimo normomis. Verta paminėti, jog šios normos nevertina lenkimo momento įtakos netolygiam skersinės jėgos pasiskirstymui, kuris EC2 ir STR normose priimamas kaip papildomas apkrovos didinimo koeficientas β .

1.5. Plokštės praspaudimo skaičiavimas taikant stygų ir spyrių metodą

Pasaulyje yra atlikta nemažai tyrimų, kuriuose aptariami įvairūs praspaudimo skaičiavimo principai, kurie įvairių šalių projektavimo normose nėra aptarti ir nėra taikomi. Vienas iš tokių tyrimų yra pateiktas straipsnyje „Design of Thick Concrete Plates Using Strut-and-Tie Model“, kurio autorius yra Hesham Marzouk [4].

Straipsnyje aptarto skaičiavimo principas yra paremtas stygų ir spyrių metodu. Plokštėje ties kolona yra sumodeliuojamos stygos ir spyriai, atitinkamai priimančios, kad gniuždomo spyrio kampas θ su plokštės horizontale sudaro $26-30^\circ$ naudojant normalųjį betoną, $32-38^\circ$ - sunkųjį betoną. Nagrinėjama plokštė yra sudalijama į tempiamą ir gniuždomas zonas. Marzouk [4] teigia, jog plokštės irimas ties kolona prasideda atsivėrus įstrižiems plyšiams plokštės viršuje, kritiniame praspaudimo perimetre, kuris nustatomas atitinkamai pagal gniuždomo spyrio kampą. Įstrižasis plyšys gilėja plokštėje iki kol yra pasiekama plokštės gniuždoma zona ir tuomet yra teigiama, jog visą skersinę jėgą turi perimti gniuždomas spyris esantis aplink koloną, gniuždomoje zonoje. Jeigu gniuždomo spyrio stiprumas nėra pakankamas, plokštės suyra.



8 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema taikant stygų ir spyrių metodą [4]

Galutinė (1.24) išraiška, pagal kurią apskaičiuojama ribinė skersinė jėga, nevertinant skersinės armatūros:

$$P_{ult} = \pi \left(D + \frac{2y}{\tan\theta} \right) \cdot \frac{y \sin\theta / 2}{\sin\theta} \cdot f_{cu} \cdot (l_{ch}/d)^{0,33} \cdot \sin\theta / 2 \quad (1.24)$$

- čia D – apvalios kolonos diametras (naudojant kvadratinę koloną, naudojama $D=4C/\pi$);
 y – gniuždomos zonos aukštis;
 θ - kampas tarp gniuždomo spyrio ir plokštės horizontalės;
 f_{cu} – gniuždomo spyrio ties gniuždoma zona stiprumas;
 l_{ch} – charakteristinis ilgis, kuris priklauso nuo betono stiprio.

Straipsnyje pateiktos dvi charakteristinio ilgio formulės, kurios priimtos iš kitų šaltinių [7, 8].

Charakteristinis ilgis pagal Zhou [8] apskaičiuojamas taikant (1.25) formulę:

$$l_{ch} = -3,84 \cdot f'_c + 580 \quad (1.25)$$

Charakteristinis ilgis pagal Hilsdorf ir Brameshuber [7] apskaičiuojamas taikant (1.26) formulę:

$$l_{ch} = 600 \cdot (f'_c)^{-0,3} \quad (1.26)$$

Gniuždomo spyrio ties gniuždoma zona stiprumas apskaičiuojamas pagal (1.27) formulę [9]:

$$f_{cu} = \frac{f'_c}{0,8 + 170 \cdot \varepsilon_1} \leq 0,85 \cdot f'_c \quad (1.27)$$

čia ε_1 – supleišėjusio betono deformacijos, kurios apskaičiuojamos pagal (1.28) formulę:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_s + (\varepsilon_s + 0,002) \cdot \cot^2 \theta_s \quad (1.28)$$

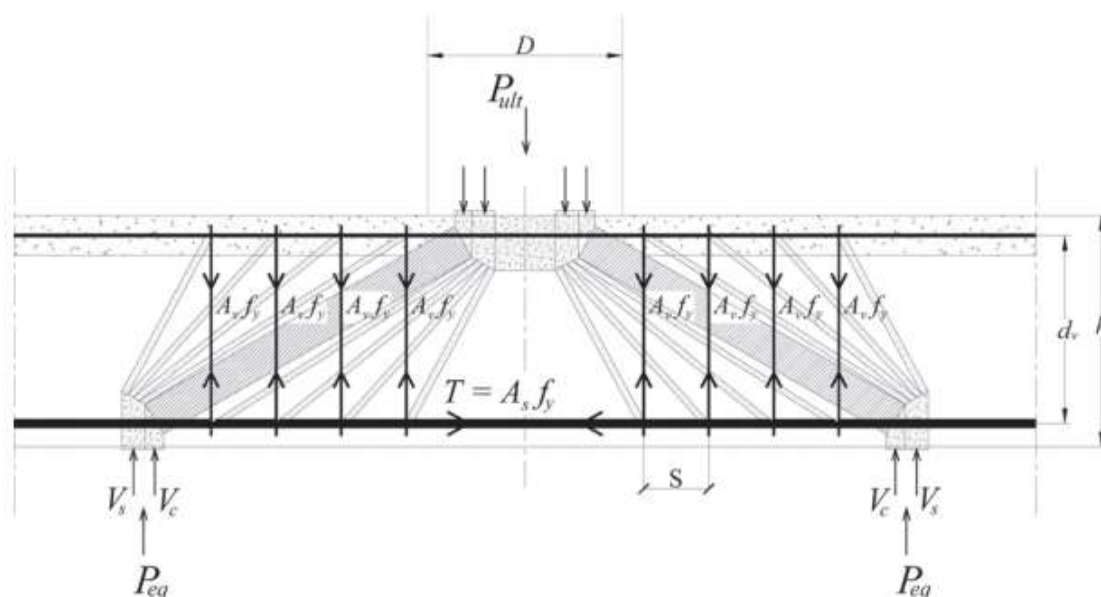
čia ε_s – armatūros deformacijos;

θ_s – mažiausias kampas tarp spyrio ir gretimos stygos.

Gniuždomos zonos aukštis apskaičiuojamas pagal (1.29) formulę:

$$y = 0,25 \cdot d \quad (1.29)$$

Šiuo metodu [4] taip pat galima apskaičiuoti plokštės stiprumą praspaudimui įvertinant skersinę armatūrą. Įvertinant skersinę armatūrą, irties kampas priimamas tarp 25-65° [10]. Skaičiuojamajame modelyje (žr. 9 pav.) skersinės armatūros traktuojamos kaip vertikalios tempiamos stygos, kurios suvaržo plokštės įrimą per įstrižąjį pjūvį.



9 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema įvertinant skersinę armatūrą, taikant stygų ir spyrių metodą [4]

Galutinė (1.30) išraiška, pagal kurią apskaičiuojama ribinė skersinė jėga, įvertinant skersinę armatūrą:

$$P_{ult} = 0,75V_c + V_s \\ = 0,75\pi(D + \frac{2y}{\tan\theta}) \cdot \frac{y\sin\theta/2}{\sin\theta} \cdot f_{cu} \cdot (l_{ch}/d)^{0,33} \cdot \sin\theta/2 + 0,9 \cdot A_v \cdot f_{ywd,ef} \cdot \cos\theta \quad (1.30)$$

čia A_v – skersinės armatūros atšakų skerspjūvio plotas nagrinėjamame įstrižajame pjūvyje;
 $f_{ywd,ef}$ – skersinės armatūros tempiamasis stipris.

Išraiškoje matome, kad ribinė skersinė jėga yra betono kaip pavienės medžiagos dalinis stiprumas (75 % stiprumo) ir skersinės armatūros stiprumo suma. Straipsnio autoriaus teigimu [4], vertinant skersinę armatūrą plokštės praspaudimo stiprumo skaičiavimuose, įtempiai betone sumažėja, todėl betono laikomąją galią sumažiname 25 %. Taip pat verta paminėti, jog įtempiai skersinėje armatūroje šioje išraiškoje priimami tokie patys, kaip ir skaičiuotume pagal EC2 [1] arba STR [2] normas.

1.6. Metodų palyginimas

Visose projektavimo normose, skaičiuojant praspaudimą, yra tikrinamos trys sąlygos:

- plokštės praspaudimo laikomoji galia be skersinės armatūros;
- plokštės praspaudimo laikomoji galia įvertinus skersinę armatūrą;
- plokštės maksimali praspaudimo laikomoji galia.

Verta paminėti, jog straipsnyje, kuriame buvo taikomas stygų ir spyrių metodas, yra taikomos tik dvi pirmosios sąlygos, t.y. maksimali praspaudimo laikomoji galia nėra aprašoma.

Vienas iš pagrindinių skirtumų tarp išnagrinėtų metodų yra praspaudimo metu susidarančių įstrižųjų plyšių posvyrio kampas nuo horizontalės. Matome, jog mažiausias kampas, yra pateikiamas EC2 normose, kuris yra 26,6°, o didžiausias – ACI318 ir SNIp normose, kuris yra priimamas 45°. STR nurodo tarpinį variantą, t.y. 33,7°. Verta paminėti, jog nagrinėtame straipsnyje, įstrižųjų plyšių kampas nėra priimamas kaip pastovus skaičius. Teigiama, kad jis gali kisti tarp 25-60°, kai kitose normose šis kampas yra priimamas kaip pastovus dydis, kuris nekinta.

EC2 ir STR normose labai didelis dėmesys yra skiriamas lenkimo momento įtakai praspaudimo skaičiavimuose. Ši lenkimo momento yra įvertinama naudojant β koeficientą, kuris yra taikomas skaičiuojant plokštę veikiančius šlyties įtempius. Šis koeficientas gali būti apskaičiuojamas pagal formules arba gali būti priimamas be skaičiavimų atitinkamai pagal plokštės vietą kolonos atžvilgiu. Koeficientas kampinėms kolonomis siekia 1,5, kas reiškia, jog skaičiavimuose veikiantys šlyties įtempiai yra padidinami 50 %. Amerikiečių normose ACI318, taip pat yra vertinama lenkimo momento įtaka praspaudimo skaičiavimuose, tačiau ji yra konservatyvesnė lyginant su EC2 ir STR. Visų pirma, tai koeficientui apskaičiuoti nėra pateiktų formulių, o yra pateiktos trys skirtingos koeficiento reikšmės, kurios priklauso nuo plokštės padėties kolonos atžvilgiu. Taip pat šis koeficientas yra vertinamas tik vienoje iš trijų lygčių sistemos formulių, todėl galime teigti, jog nevisada lenkimo momentas projektuojant pagal šias normas, turės įtaką praspaudimo skaičiavimuose. SNIp normose lenkimo momento įtaka nėra vertinama.

Kai nagrinėjamoje plokšteje būtina naudoti skersinę armatūrą praspaudimui suvaržyti, didelę įtaką skaičiavimuose turi skersinės armatūros tempiamasis stipris. ACI318 ir SNIp normos leidžia naudoti

didelius skersinės armatūros įtempius lyginant su STR, EC2 ir straipsnyje pateiktame skaičiavime. Amerikiečių normose armatūros stipris yra normuojamas iki 420 MPa, o rusų normose – stipris nenormuojamas, kas reiškia, kad stipris gali būti priimamas maksimalus. Europos normose ir nagrinėtame straipsnyje armatūros stipris kinta atitinkamai pagal nagrinėjamos plokštės aukštį, tai skaičiuojant plokštę, kurios darbinis armatūros aukštis lygus $d=200$ mm, skersinės armatūros stipris gaunamas 300 MPa, t.y. 40 % mažesnis lyginant su SNIIP ir ACI318 normomis.

Visose projektavimo normose suskaičiavus reikiamą skersinės armatūros kiekį yra ieškomas praspaudimo perimetras, kuriame skersinės armatūros nebereikia. Šio perimetro skaičiavimas visose normose atliekamas panašiu principu, t.y. ieškant perimetro, ties kuriuo šlyties įtempiai arba skersinė jėga neviršija leistinų, kurie yra apskaičiuojami vertinant tik betono stiprumą, be skersinės armatūros.

ACI318 normos yra išskyrusios du skirtingus armavimo tipus (rumbuota armatūra, galvelinės jungtys), pagal kuriuos atitinkamai naudojamos ir skirtingos skaičiavimų formulės. Kitose projektavimo normose ir aptartuose straipsniuose skersinė armatūra nėra skirstoma į tipus.

2. Santvaros metodas perdangos plokščių praspaudimo skaičiavimuose

Santvaros modelis yra aprašytas Eurokode 2 [1,5] ir jis yra naudojamas apskaičiuoti elemento stiprumą skersinėms jėgoms. Šiame tyrime šį metodą pritaikysime perdangos plokštės praspaudimui skaičiuoti. Verta paminėti, jog Eurokode 2 pateiktos formulės yra skirtos 1D elementui, kurio vienas iš pagrindinių charakteringų dydžių nagrinėjant elemento stiprumą skersinėms jėgoms yra jo plotis. Nagrinėjant perdangos plokštę, mes turime 2D elementą, kuris neturi apibrėžto tikslaus pločio, kurį būtų galima taikyti skaičiavimuose kaip nekintamą dydį, todėl šis dydis apskaičiuojamas pagal išvestas formules, kurios pritaikytos skaičiuoti perdangos plokštės praspaudimo sąlygas pagal santvaros metodą. Taip pat verta paminėti, jog skaičiuojant 1D elementą (sija), lenkimo momentas veikiantis joje įtakos elemento įstrižojo pjūvio stiprumui įtakos neturi, tačiau nagrinėjant perdangos plokštę (2D elementą), lenkimo momentas įtakos turi plokštės praspaudžiamajam stiprumui. Dėl šios priežasties, dėl atsirandančio lenkimo momento kolonoje virš nagrinėjamos perdangos plokštės yra išvedamas apkrovą didinantis koeficientas β , kuris įvertina netolygų šlyties įtempių pasiskirstymą plokštėje virš kolonos.

2.1. Pagrindiniai kintamieji dydžiai

Kadangi perdangos plokštės yra armuojamos dviem kryptimis, todėl visi parametrai susiję su plokštės armavimu yra apskaičiuojami taip pat dviem kryptimis. Skaičiavimų supaprastinimo dėlei suskaičiavus armavimo parametrus tiek X, tiek Y kryptimis, apskaičiuojami šių parametų vidurkiai, kurie taikomi tolimesniuose skaičiavimuose.

Armavimo parametrai X kryptimi apskaičiuojami pagal (2.1) (2.2) (2.3) (2.4) formules:

$$d_x = h - a_{s1x} \quad (2.1)$$

$$n_x = \frac{1000 \text{ mm}}{s_x} \quad (2.2)$$

$$A_{sx} = \frac{\pi \cdot D_x^2}{4} \cdot n_x \quad (2.3)$$

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{1000 \text{ mm} \cdot d_x} \quad (2.4)$$

- čia d_x – darbinis perdangos plokštės aukštis;
 h – perdangos plokštės aukštis;
 a_{s1x} – atstumas nuo tempiamos armatūros centro iki perdangos plokštės krašto;
 n_x – tempiamų armatūros strypų kiekis vieno metro ruože;
 s_x – išilginių armatūros strypų žingsnis;
 A_{sx} – išilginės armatūros plotas vieno metro ruože;
 D_x – išilginės armatūros diametras;
 ρ_x – perdangos plokštės armavimo procentas.

Armavimo parametrai Y kryptimi apskaičiuojami pagal identiškas formules kaip ir X kryptimi, tik pakeičiamas kintamųjų dydžių indeksas iš x į y.

Perdangos plokštės darbinio aukščio ir armavimo procento vidurkiai apskaičiuojami atitinkamai pagal (2.5) (2.6) formules:

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} \quad (2.5)$$

$$\rho_l = \min(0,02; \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}) \quad (2.6)$$

Skaičiavimuose bus naudojamos dviejų medžiagų charakteristikos: betono ir armatūros. Praspaudimo skaičiavimuose bus naudojamos skaičiuotinės šių medžiagų stiprumo reikšmės įvertinus atsargos koeficientus.

Skaičiuojamasis betono gniuždomasis stipris apskaičiuojamas pagal (2.7) formulę:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} \quad (2.7)$$

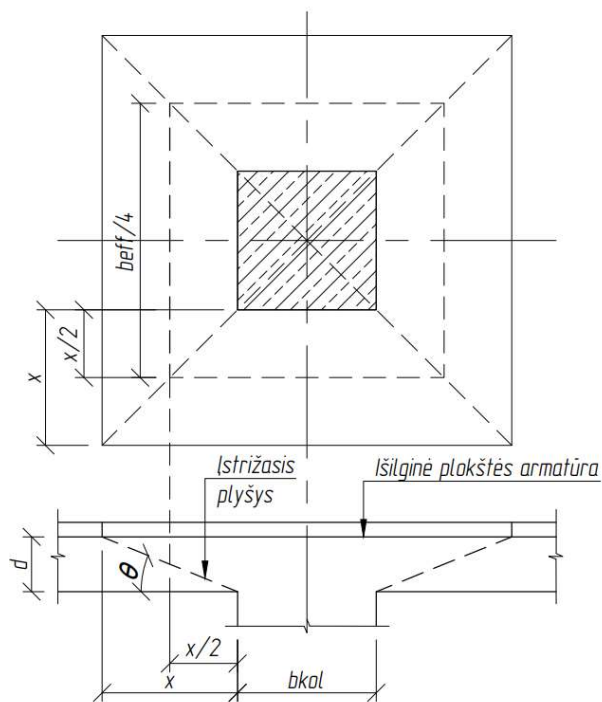
čia f_{ck} – charakteristinis betono gniuždomasis stipris
 α_{cc} – betono atsargos koeficientas (pasirenkamas 0,9);
 γ_c – betono stiprumo atsargos koeficientas (pasirenkamas 1,5).

Skaičiuojamasis armatūros tempiamasis stipris apskaičiuojamas pagal (2.8) formulę:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (2.8)$$

čia f_{yk} – charakteristinis armatūros tempiamasis stipris;
 γ_s – armatūros stiprumo atsargos koeficientas (pasirenkamas 1,5).

Taikant santvaros metodą yra priimama, kad įstrižasis plyšys praspaudimo irties metu sudaro nuo 22°-45° kampą su horizontalia perdangos plokštuma (žr. pav. 10). Tikslus įstrižojo plyšio kampas kiekvienam nagrinėjamui elementui apskaičiuojamas individualiai pagal formulę, kuri priklauso nuo elemento geometrijos, medžiagiškumo ir skersinės jėgos veikiančios plokštėje ties kolonos kraštu.



10 pav. Praspaudimo skaičiuojamoji schema taikant santvaros metodą

Tikrasis įstrižojo plyšio kampas apskaičiuojamas pagal (2.9) formulę:

$$\theta_{calc} = 0,5 \cdot \arcsin\left(\frac{V_{Ed,f}}{0,5 \cdot z \cdot b_{eff} \cdot v \cdot f_{cd}}\right) \quad (2.9)$$

- čia $V_{Ed,f}$ – skersinė jėga veikiantis ties kolonos perimetru;
 z – jėgų petys;
 b_{eff} – efektyvusis perdangos plokštės plotis;
 v – betono stiprumą mažinantis koeficientas.

Tam, kad gauti tikrąjį įstrižojo plyšio kampą reikia žinoti efektyvųjį perdangos plokštės plotį, per kurio ilgį formuojasi įstrižasis plyšys. Efektyvusis perdangos plokštės plotis priimamas lygus kolonos pločio ir įstrižojo plyšio ilgio projekcijos į perdangos plokštės horizontalų paviršių sumai. Kadangi nagrinėjama perdangos plokštės dalis yra ties vidine kolona, todėl apskaičiuotas plotis dauginamas iš 4. Perdangos plokštės efektyvusis plotis yra tiesiogiai susijęs su įstrižojo plyšio kampu, todėl pirmiausia turime patikrinti maksimalų ir minimalų galimus įstrižojo plyšio kampus ir atitinkamai tuomet priimti pagal gautus rezultatus tikrąjį kampo reikšmę.

Įstrižojo plyšio ilgio projekcija į horizontalų perdangos plokštės paviršių, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 22° kampu apskaičiuojama pagal (2.10) formulę:

$$x_{22} = \frac{d}{\tan 22^\circ} \quad (2.10)$$

Efektyvusis perdangos plokštės plotis, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 22° kampu apskaičiuojamas pagal (2.11) formulę:

$$b_{22} = 4 \cdot (b_{kol} + x_{22}) \quad (2.11)$$

čia b_{kol} – kolonos plotis / aukštis.

Tie patys skaičiavimai atliekami pagal (2.12) (2.13) formules priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 45° kampu:

$$x_{45} = \frac{d}{\tan 45^\circ} \quad (2.12)$$

$$b_{45} = 4 \cdot (b_{kol} + x_{45}) \quad (2.13)$$

Jėgų petys apskaičiuojamas pagal (2.14) formulę:

$$z = 0,9 \cdot d \quad (2.14)$$

Betono stiprumą mažinantis koeficientas apskaičiuojamas pagal (2.15) formulę:

$$v = 0,45 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (2.15)$$

Skaičiuojant betono stiprumą mažinantį koeficientą, vadovaujantis EC2 aprašytu santvaros metodu, kuris taikomas gelžbetoninių sijų skersinės armatūros skaičiavimui, formulės koeficientas priimamas lygus 0,60. Mūsų projektavimo atveju, kai nagrinėjamas erdvinis elementas, koeficientas priimamas lygus 0,45, kadangi esant erdviniam elementui, šlyties įtempiai ties nagrinėjama zona tikėtina, kad pasiskirstys netolygiai ir maksimali nagrinėjamo elemento galia bus dalinai mažesnė, lyginant su sijiniu elementu.

Pagal turimus visus kintamuosius dydžius pagal (2.16) (2.17) (2.18) formules skaičiuojamas tikrasis įstrižojo plyšio kampas:

$$\theta_{calc22} = 0,5 \cdot \arcsin\left(\frac{V_{Ed,f}}{0,5 \cdot z \cdot b_{22} \cdot v \cdot f_{cd}}\right) \quad (2.16)$$

$$\theta_{calc45} = 0,5 \cdot \arcsin\left(\frac{V_{Ed,f}}{0,5 \cdot z \cdot b_{45} \cdot v \cdot f_{cd}}\right) \quad (2.17)$$

$$\theta = \min((\max(\theta_{calc22}; \theta_{calc45}; 22^\circ); 45^\circ) \quad (2.18)$$

Dažniausiai galutinis apskaičiuotas įstrižojo plyšio kampas gaunamas mažesnis už 22°, todėl jis tolimesniuose skaičiavimuose priimamas lygus minimaliai kampo reikšmei, kuri ir yra 22°. Jeigu gaunamas kampas tarp 22°-45°, tuomet būtina priartėjimo būdu surasti tikrąjį įstrižojo plyšio kampą, kuris tiesiogiai priklauso nuo efektyvaus perdangos plokštės pločio.

Pagal turimą tikslų kampą, perskaičiuojamas pagal formules (2.19) (2.20) arba prilyginamas prieš tai apskaičiuotas elemento efektyvusis plotis tolimesniuose skaičiavimuose naudojamam efektyviajam perdangos plokštės pločiui:

$$x = \frac{d}{\tan \theta} \quad (2.19)$$

$$b_{eff} = 4 \cdot (b_{kol} + x) \quad (2.20)$$

2.2. β koeficientas

Skaičiuojant perdangos plokštės praspaudimą yra galimi du apkrovų variantai: kolona apkrauta centriškai (kolonoje nėra lenkimo momento) arba kolona apkrauna necentriškai (kolonoje veikia lenkimo momentas). Atitinkamai pagal apkrovimo variantą yra taikomas arba netaikomas apkrovos didinimo koeficientas β , kuris yra didesnis už 1,0 kai kolonoje esančioje po nagrinėjama perdangos plokštės vieta, veikia lenkimo momentas. Koeficientas naudojamas dėl to, nes apkraunant perdangos plokštę netolygiai, netolygiai pasiskirsto ir šlyties įtempiai ties nagrinėjama vieta, kas sukelia vienoje kolonos pusėje didesnę šlyties įtempių koncentraciją. Didesnė šlyties įtempių koncentracija ties viena puse reiškia, kad ties viena kolonos puse perdangos plokštėje gali reikti daugiau skersinės armatūros suvaržyti veikiančią skersinę jėgą, o kitoje – mažiau. Tam, kad nereiktų skaičiuoti kolonos iš kelių pusių, yra įvedamas koeficientas β , kuris ir įvertina šlyties įtempių netolygumą veikiant lenkimo momentui kolonoje.

β koeficientas apskaičiuojamas pagal (2.21) formulę:

$$\beta = \frac{V_{max} \cdot 2}{V_{Ed}} \quad (2.21)$$

čia V_{max} – skersinė jėga ties labiau apkrauta kolonos puse;
 V_{Ed} – skaičiuojamoji skersinė jėga perdangos plokštėje virš kolonos.

2.3. Gniuždomo spyrio stiprumas

Visų pirma patikrinamas gniuždomo betono spyrio stiprumas, kuris nusprendžia ar nagrinėjamos perdangos plokštės betonas atlaikys veikiančią skersinę jėgą.

Gniuždomo spyrio stiprumas apskaičiuojamas pagal (2.22) formulę:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{eff} \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (2.22)$$

čia α_{cw} – koeficientas, kurį taikant atsižvelgiama į gniuždomosios juostos įtempių būvį (pasirenkamas lygus 1,0).

Tikrinama gniuždomo spyrio stiprumo sąlyga (2.23):

$$V_{Rd,max} \geq \beta \cdot V_{Ed,f} \quad (2.23)$$

Jeigu sąlyga tenkina, reiškia, kad perdangos plokštės gniuždomo spyrio stiprumas yra pakankamas. Jeigu sąlyga netenkina, tuomet reikia keisti perdangos plokštės gabaritus arba didinti betono klasę.

2.4. Perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros

Jeigu plokštės gniuždomo betono spyrio sąlyga tenkina, tuomet skaičiuojamas perdangos plokštės be skersinės armatūros praspaudžiamoji galia.

Koeficientai apskaičiuojami pagal (2.24) (2.25) formules:

$$k = \min\left(\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right); 2\right) \quad (2.24)$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (2.25)$$

Minimali perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros apskaičiuojama pagal (2.26) (2.27) formules:

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck} \quad (2.26)$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_{eff} \cdot d \quad (2.27)$$

Skaičiuojamoji perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros apskaičiuojama pagal (2.28) formulę:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_{eff} \cdot d \quad (2.28)$$

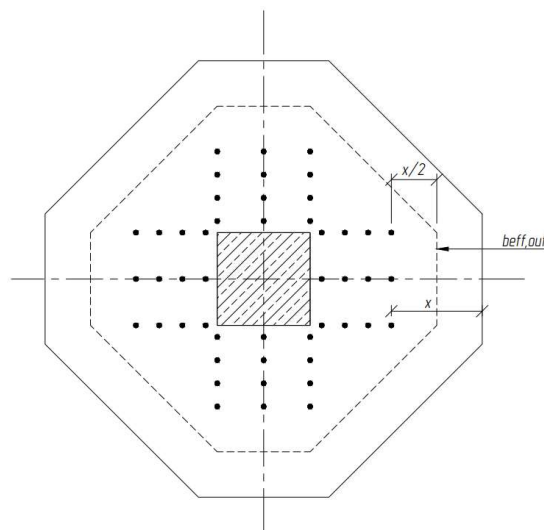
Tikrinama perdangos plokštės praspaudžiamosios galios nevertinant skersinės armatūros sąlyga (2.29):

$$\max(V_{Rd,c}; V_{Rd,c,min}) \geq \beta \cdot V_{Ed} \quad (2.29)$$

Jeigu sąlyga tenkina, reiškia, kad skersinės armatūros praspaudimui suvaržyti nereikia. Jeigu sąlyga netenkina, reiškia, kad perdangos plokštėje reikalinga numatyti skersinę armatūrą ir taip pat surasti perdangos plokštės efektyvųjį plotį, ties kuriuo skersinės armatūros nereikia (žr. 11 pav.)

Perdangos plokštės efektyvusis plotis, ties kuriuo nereikia skersinės armatūros apskaičiuojamas pagal (2.30) formulę:

$$b_{eff,out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot d} \quad (2.30)$$



11 pav. Praspaudimo išorinio perimetro schema taikant santvaros metodą

2.5. Perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinant skersinę armatūrą

Jeigu gaunama taip, kad perdangos plokštei reikalinga skersinė armatūra, tuomet tolimesni skaičiavimai atliekami pagal šį skyrių.

Skaičiuojant perdangos plokštės praspaudžiamąją galią įvertinus skersinę armatūrą, reikia užsiduoti skersinės armatūros diametrą, skersinės armatūros atšakų skaičių ir skersinės armatūros žingsnį.

Skersinės armatūros plotas apskaičiuojamas pagal (2.31) formulę:

$$A_{sw} = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} \quad (2.31)$$

čia n_{sw} – skersinės armatūros kiekis aplink koloną vienu perimetru;
 d_{sw} – skersinės armatūros diametras.

Perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinant skersinę armatūrą apskaičiuojama pagal (2.32) formulę:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_r} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta \quad (2.32)$$

čia s_r – skersinės armatūros žingsnis nuo kolonos.

Tikrinama perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinus skersinę armatūrą sąlyga (2.33):

$$V_{Rd,s} \geq \beta \cdot V_{Ed} \quad (2.33)$$

Jeigu sąlyga tenkina, reiškia, kad parinktis skersinės armatūros kiekis yra pakankamas suvaržyti praspaudimą. Jeigu sąlyga netenkina, reiškia, kad perdangos plokštėje reikalinga numatyti didesnį kiekį skersinės armatūros arba atitinkamai didinti perdangos plokštės skerspjūvį, daryti perdangos plokštės išstorinimą ties nagrinėjama kolona.

3. Skaičiavimų rezultatai ir palyginimai

Vadovaujantis teoriniais ir eksperimentiniais duomenimis atlikta keletas skirtingų rūšių palyginimų tarp įvairių projektavimo normų ir šiame darbe nagrinėjamo santvaros metodo. Kiekviename skyriuje atlikti skaičiavimai ir palyginimai, kurių reziume gaunami rezultatai ir pateikiamos įžvalgos.

3.1. Teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai nevertinant lenkimo momento kolonoje

Atlikti teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai penkių skirtingų storių perdangos plokštėms: 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm. Skaičiavimai atlikti vadovaujantis EC2, STR, ACI318 ir SNiP projektavimo normose pateiktomis formulėmis. Taip pat skaičiavimai atlikti naudojant santvaros metodą (S.M.), kuris analizuojamas šiame tyrime. Verta paminėti, jog šie skaičiavimai atliekami nevertinant lenkimo momento kolonoje, t.y. skaičiuojant pagal EC2, STR ir S.M., β koeficientas priimamas lygus 1,0. Taip pat skaičiavimuose priimama, jog armavimo procentas nepriklausomai nuo perdangos plokštės storio, lygus 1,0 %, o atstumas nuo tempiamos armatūros centro iki perdangos plokštės krašto lygus 50 mm. Skaičiavimų nekintami duomenys pateikti 1 lentelėje. Skaičiavimų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

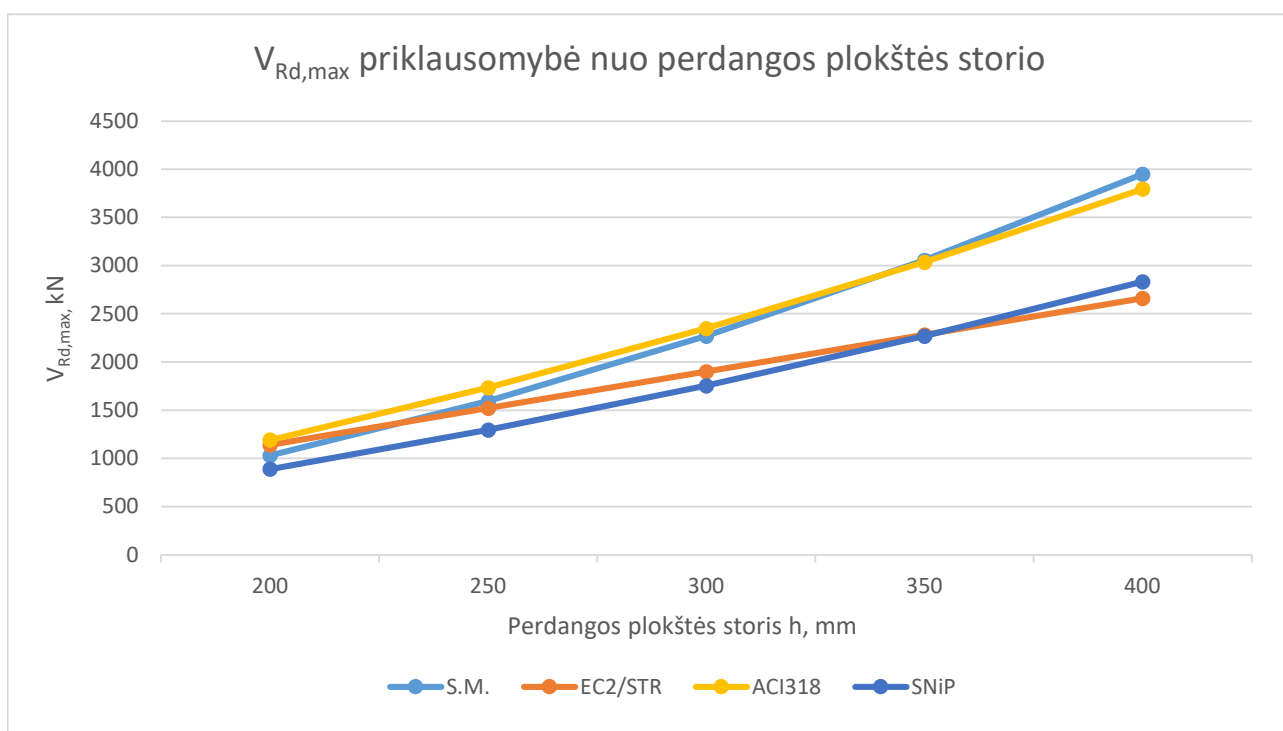
1 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant lenkimo momento kolonoje duomenys

Žymuo	Reikšmė	Matavimo vnt.
b_{kol}	400	mm
f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
a_s	50	mm
ρ_l	1,00	%
d_{sw}	10	mm
n_{sw}	8	Vnt.
s_r	150	mm

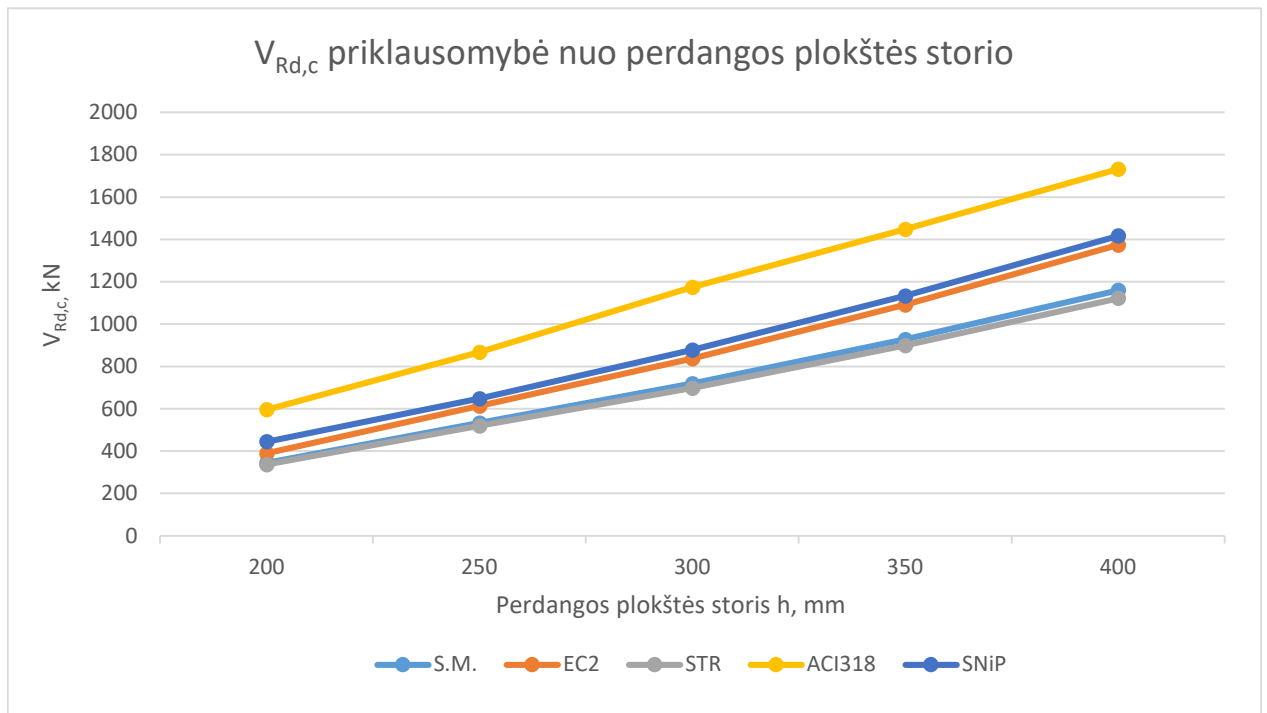
2 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant lenkimo momento kolonoje rezultatai

Žymuo/Metodai	S.M.	EC2	STR	ACI318	SNiP
Plokštės storis h=200 mm					
$V_{Rd,max}$	1031,1	1140,5	1140,5	1192,9	891,0
$V_{Rd,c}$	345,1	389,9	337,1	596,5	445,5
$V_{Rd,s}$	608,5	563,3	523,8	715,8	809,7
Plokštės storis h=250 mm					
$V_{Rd,max}$	1595,4	1520,6	1520,6	1735,2	1296,0
$V_{Rd,c}$	534,0	613,5	519,8	867,6	648,0
$V_{Rd,s}$	811,4	837,1	766,8	1009,1	1085,1
Plokštės storis h=300 mm					
$V_{Rd,max}$	2270	1900,8	1900,8	2349,7	1755,0

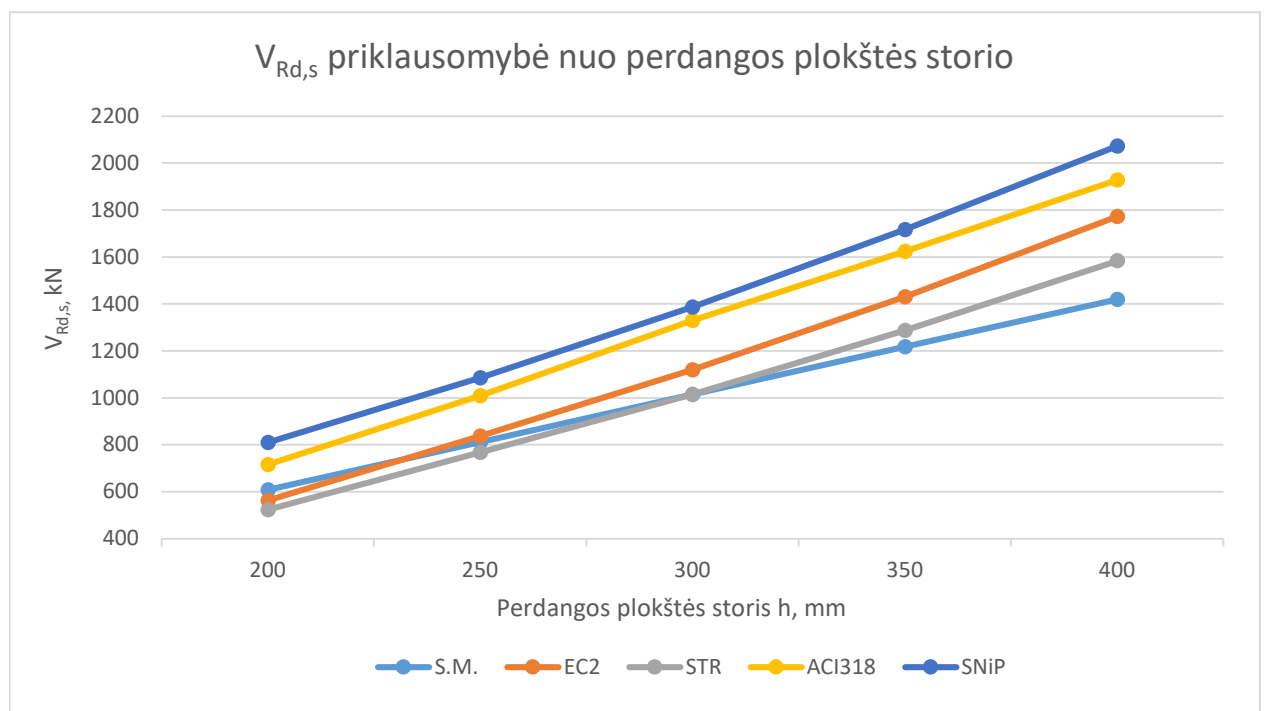
$V_{Rd,c}$	719,6	837,3	698,6	1174,9	877,5
$V_{Rd,s}$	1014,2	1118,9	1014,9	1329,9	1387,4
Plokštės storis h=350 mm					
$V_{Rd,max}$	3054,9	2281,0	2281,0	3036,6	2268,0
$V_{Rd,c}$	928,6	1091,1	899,6	1447,6	1134,0
$V_{Rd,s}$	1217,1	1431,0	1287,3	1624,5	1716,8
Plokštės storis h=400 mm					
$V_{Rd,max}$	3950,1	2661,1	2661,1	3795,7	2835,0
$V_{Rd,c}$	1160,7	1374,5	1122,6	1732,5	1417,5
$V_{Rd,s}$	1419,9	1773,1	1584,1	1928,3	2073,1



12 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,max}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)



13 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,c}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)



14 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,s}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (nevertinamas lenkimo momentas kolonose)

Remiantis $V_{Rd,max}$ priklausomybės nuo perdangos plokštės storio diagrama (žr. 12 pav.) ir rezultatų lentelė (žr. 2 lent.) matoma, jog didėjant perdangos plokštės storiui, skaičiuojant pagal ACI318 ir S.M. perdangos plokštės laikomoji didėja beveik vienodai ir sparčiau nei skaičiuojant pagal EC2, STR ar SNiP projektavimo normas. Verta paminėti, jog projektuojant pagal EC2, STR ir SNiP normas

gaunamos nagrinėjamo parametro reikšmės tarpusavyje taip pat panašios. Kadangi tiek EC2, tiek STR normose skaičiavimo metodiką gniuždomo spyrio stiprumui yra pateikta vienoda, todėl skaičiuojant pagal šias normas nagrinėjamas parametras gaunasi vienodas. Esant mažam perdangos plokštės storiui (200 mm, 250 mm) plokštės $V_{Rd,max}$ parametras maksimaliai tarp skirtingų projektavimo metodikų skiriasi 34%, o esant dideliame perdangos plokštės storiui (400 mm) – 49 %.

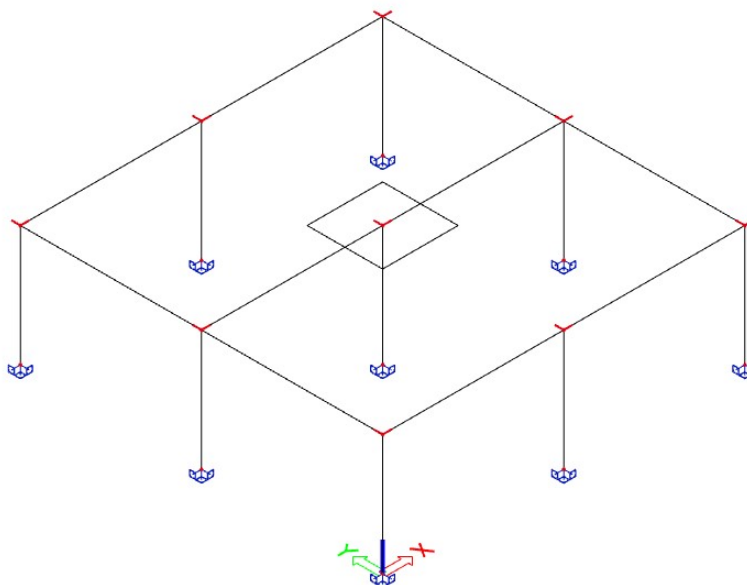
Remiantis $V_{Rd,c}$ priklausomybės nuo perdangos plokštės storio diagrama (žr. 13 pav.) ir rezultatų lentelė (žr. 2 lent.) matoma, jog didžiausia perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros gaunama taikant amerikiečių normas ACI318, o mažiausia – STR projektavimo normas ir santvaros metodą. Verta paminėti, jog nagrinėjamas parametras $V_{Rd,c}$ didėjant perdangos plokštės storiui tarp tam tikrų projektavimo normų ir metodų kinta labai panašiai. Šis laikomosios galios ryšys, remiantis diagrama (žr. 9 pav.) matomas tarp STR ir S.M. skaičiavimo metodų, SNiP ir EC2 skaičiavimo metodų. Lyginant amerikiečių projektavimo normas ACI318 ir santvaros metodu atliktų skaičiavimų rezultatus matome, jog esant mažam perdangos plokštės storiui (200 mm), perdangos plokštės praspaudžiamoji galia nevertinant skersinės armatūros gaunama 1,73 karto didesnė skaičiuojant pagal ACI318 nei pagal santvaros metodą, o esant dideliame perdangos plokštės storiui (400 mm) – 1,50 karto didesnė pagal ACI318 nei pagal santvaros metodą. Verta paminėti, jog tiriamo santvaros metodo rezultatai gaunami beveik identiški rezultatams kaip pagal STR.

Remiantis $V_{Rd,s}$ priklausomybės nuo perdangos plokštės storio diagrama (žr. 14 pav.) ir rezultatų lentelė (žr. 2 lent.) matoma, jog didžiausia perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinant skersinę armatūrą gaunama taikant SNiP projektavimo normas, o mažiausia, priklausomai nuo perdangos plokštės storio – STR projektavimo normas ir santvaros metodą. Naujai taikomu santvaros metodu apskaičiuota perdangos plokštės praspaudžiamoji galia įvertinant skersinę armatūrą plonose perdangos plokštėse (200 mm, 250 mm) gaunama panaši į pagal EC2 normas apskaičiuotą galią, storesnėse plokštėse (300 mm, 350 mm) – į pagal STR apskaičiuotą galią. Taip yra todėl, nes taikant santvaros metodą skersinės armatūros įtempiai nepriklausomai nuo perdangos plokštės aukščio yra pastovūs, o taikant tiek EC2, tiek STR normas – kinta priklausomai nuo perdangos plokštės aukščio.

3.2. Teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai įvertinant lenkimo momentą kolonoje

Atlikti teoriniai praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai penkių skirtingų storių perdangos plokštėms: 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm. Skaičiavimai atlikti vadovaujantis EC2, STR projektavimo normomis ir taikant santvaros metodą (S.M.). Verta paminėti, jog šie skaičiavimai atliekami įvertinus lenkimo momentą kolonoje, t.y. pagal atitinkamas skaičiavimo normų, metodų formules yra apskaičiuojamas β koeficientas. Skaičiavimų nekintami duomenys pateikti 1 lentelėje. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Tam, kad būtų imituojami realūs įrašų pasiskirstymai, šiai analizei buvo naudojamas 3D skaičiuojamasis modelis (žr. 15 pav.). Skaičiuojamąjį modelį sudaro 9 kolonos ir standi perdangos plokštė. Kolonos apačioje įtvirtintos standžiai ir viršuje su perdanga sujungiamos taip pat standžiai. Kadangi nagrinėjama skaičiuojamoji schema yra statiškai neišsprendžiama, todėl elementuose veikiančios įrašos yra apskaičiuojamos įvertinant elementų standumus.

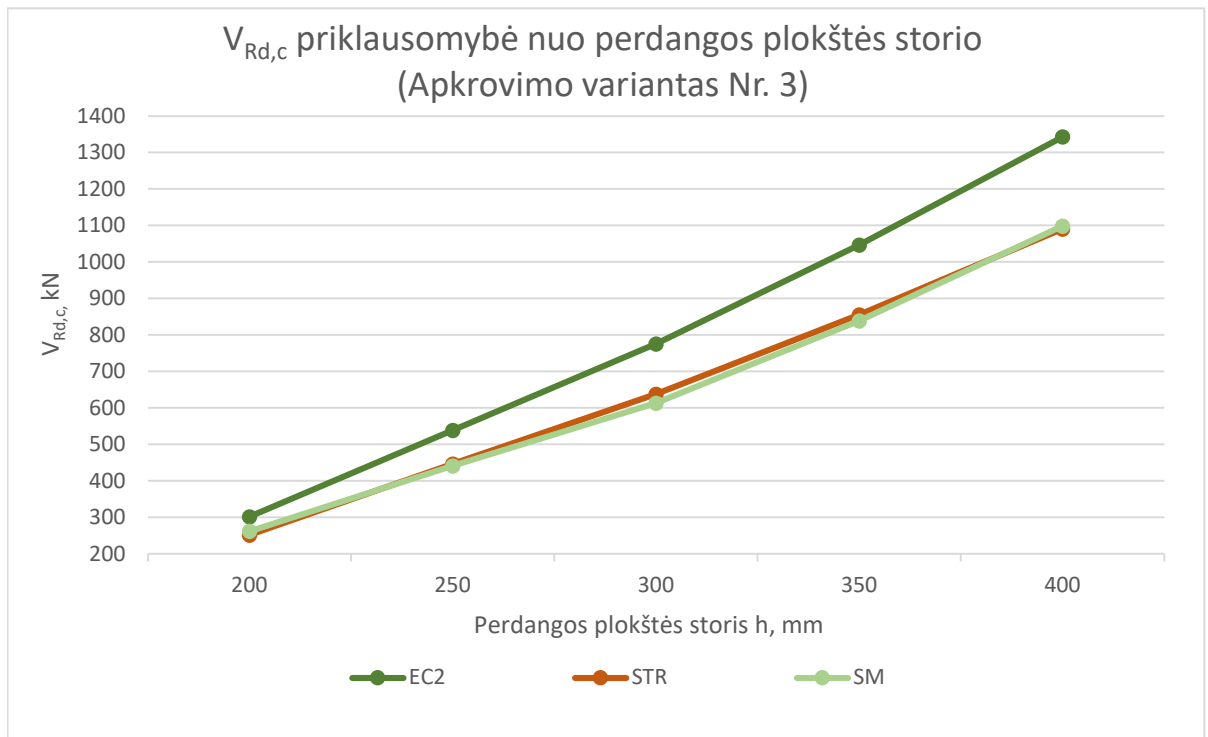


15 pav. Skaičiuojamasis modelis

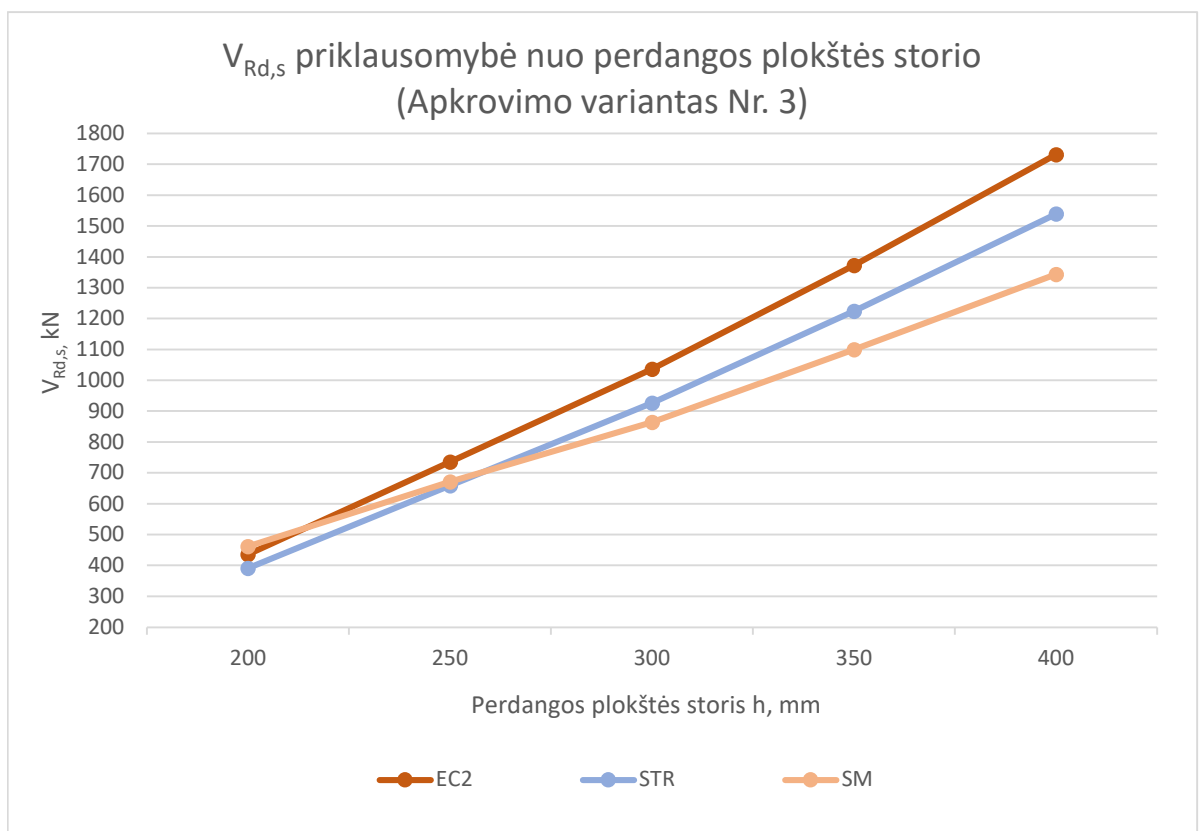
3 lentelė. Teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų įvertinant lenkimo momento kolonoje duomenys

Žymuo/Metodai	EC2	STR	S.M.	EC2	STR	S.M.	EC2	STR	S.M.
	Apkrovimo variantas Nr. 1 (be lenkimo momento)			Apkrovimo variantas Nr. 2			Apkrovimo variantas Nr. 3		
Plokštės storis h=200 mm									
V_{Ed} , kN	466			350			536		
M , kNm	0	0	-	35	35	-	91	91	-
β	1,00	1,00	1,00	1,17	1,20	1,20	1,29	1,34	1,32
$V_{Rd,max}$, kN	1140,5	1140,5	1031,1	973,3	950,6	859,3	882,9	851,7	782,7
$V_{Rd,max}$ santykis (S.M./Metodas)	0,90	0,90	1,00	0,88	0,90	1,00	0,89	0,92	1,00
$V_{Rd,c}$, kN	389,8	337,1	345,1	332,7	281,0	287,6	301,8	251,7	262,0
$V_{Rd,c}$ santykis (S.M./Metodas)	0,89	1,02	1,00	0,86	1,02	1,00	0,87	1,04	1,00
$V_{Rd,s}$, kN	563,3	523,8	608,5	480,7	436,6	507,1	436,1	391,1	461,9
$V_{Rd,s}$ santykis (S.M./Metodas)	1,08	1,16	1,00	1,05	1,16	1,00	1,06	1,18	1,00
Plokštės storis h=250 mm									
V_{Ed} , kN	773			508			701		
M , kNm	0	0	-	26	26	-	67	67	-
β	1,00	1,00	1,00	1,07	1,09	1,12	1,14	1,16	1,21
$V_{Rd,max}$, kN	1520,6	1520,6	1595,4	1415,6	1397,7	1425,8	1335,6	1306,1	1319,1
$V_{Rd,max}$ santykis (S.M./Metodas)	1,05	1,05	1,00	1,00	1,02	1,00	0,99	1,00	1,00
$V_{Rd,c}$, kN	613,5	519,8	534,0	571,1	477,8	477,2	538,8	446,5	441,5
$V_{Rd,c}$ santykis (S.M./Metodas)	0,87	1,03	1,00	0,84	1,00	1,00	0,82	0,99	1,00
$V_{Rd,s}$, kN	837,1	766,8	811,4	779,3	704,8	725,1	735,2	658,7	670,8

$V_{Rd,s}$ santykis (S.M./Metodas)	0,97	1,06	1,00	0,93	1,03	1,00	0,91	1,02	1,00
Plokštės storis h=300 mm									
V_{Ed} , kN	1090			793			1041		
M, kNm	0	0	-	30	30	-	66	66	-
β	1,00	1,00	1,00	1,05	1,06	1,11	1,08	1,10	1,17
$V_{Rd,max}$, kN	1900,8	1900,8	2270	1814,7	1798,2	2050,3	1760,8	1734,9	1934,3
$V_{Rd,max}$ santykis (S.M./Metodas)	1,19	1,19	1,00	1,13	1,14	1,00	1,10	1,11	1,00
$V_{Rd,c}$, kN	837,3	698,6	719,6	799,4	660,9	650,0	775,7	637,7	613,2
$V_{Rd,c}$ santykis (S.M./Metodas)	0,86	1,03	1,00	0,81	0,98	1,00	0,79	0,96	1,00
$V_{Rd,s}$, kN	1118,9	1014,9	1014,2	1068,2	960,1	916,1	1036,5	926,3	864,2
$V_{Rd,s}$ santykis (S.M./Metodas)	0,91	1,00	1,00	0,86	0,95	1,00	0,83	0,93	1,00
Plokštės storis h=350 mm									
V_{Ed} , kN	1405			1079			1330		
M, kNm	0	0	-	24	24	-	51	51	-
β	1,00	1,00	1,00	1,02	1,03	1,06	1,04	1,05	1,11
$V_{Rd,max}$, kN	2281,0	2281,0	3054,9	2226,2	2214,7	2879,2	2188,2	2169,1	2759,3
$V_{Rd,max}$ santykis (S.M./Metodas)	1,34	1,33	1,00	1,29	1,30	1,00	1,26	1,27	1,00
$V_{Rd,c}$, kN	1091,1	899,6	928,6	1064,9	873,5	875,2	1046,8	855,5	838,8
$V_{Rd,c}$ santykis (S.M./Metodas)	0,85	1,03	1,00	0,82	1,00	1,00	0,80	0,98	1,00
$V_{Rd,s}$, kN	1431,0	1287,3	1217,1	1396,6	1249,9	1147,1	1372,8	1224,2	1099,3
$V_{Rd,s}$ santykis (S.M./Metodas)	0,85	0,95	1,00	0,82	0,92	1,00	0,80	0,90	1,00
Plokštės storis h=400 mm									
V_{Ed} , kN	1717			1409			1661		
M, kNm	0	0	-	20	20	-	40	40	-
β	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,02	1,03	1,06
$V_{Rd,max}$, kN	2661,1	2661,1	3950,1	2624,3	2616,1	3820,9	2599,2	2585,6	3738,5
$V_{Rd,max}$ santykis (S.M./Metodas)	1,48	1,48	1,00	1,46	1,46	1,00	1,44	1,45	1,00
$V_{Rd,c}$, kN	1374,5	1122,6	1160,7	1355,5	1103,5	1122,7	1342,6	1090,7	1098,5
$V_{Rd,c}$ santykis (S.M./Metodas)	0,84	1,03	1,00	0,83	1,02	1,00	0,82	1,00	1,00
$V_{Rd,s}$, kN	1773,1	1584,1	1419,9	1748,6	1557,3	1373,5	1731,9	1539,1	1343,8
$V_{Rd,s}$ santykis (S.M./Metodas)	0,80	0,9	1,00	0,79	0,88	1,00	0,78	0,87	1,00



16 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,c}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (vertinamas lenkimo momentas kolonose)



17 pav. Teoriškai apskaičiuoto parametro $V_{Rd,s}$ priklausomybė nuo perdangos plokštės storio (vertinamas lenkimo momentas kolonose)

Vadovaujantis rezultatų lentele (žr. 3 lent.) galime padaryti išvadą, kad išvestas β koeficientas, kuris naudojamas skaičiuojant pagal santvaros metodą, plonose perdangose (200 mm) gaunamas labai panašus į β koeficientą, kuris yra aprašytas tiek pagal EC2, tiek pagal STR projektavimo normas. Esant storesnėms perdangoms (300 mm, 350 mm, 400 mm) koeficientas skiriasi maždaug dvigubai. Tikėtina, jog taip yra dėl to, nes esant storesnei perdangos plokštei, mazgas tarp kolonos ir perdangos tampa standesnis, todėl sukuriamas lenkimo momentas dėl netolygaus apkrovimo kolonoje yra mažesnis nei esant mažiau standesniai mazgui. Skersinės jėgos iš vieno ir kito kolonos krašto taip pat priklausomai nuo perdangos standumo panašėja, tačiau ne taip stipriai kaip lyginant su lenkimo momentu.

Remiantis $V_{Rd,c}$ priklausomybės nuo perdangos plokštės storio diagrama (žr. 16 pav.) ir rezultatų lentele (žr. 3 lent.) matoma, jog perdangos plokštės praspaudžiamosios galios nevertinant skersinės armatūros ir esant lenkimo momentui kolonoje, projektuojant pagal STR projektavimo normas ir taikant santvaros metodą gaunamos beveik identiškos. Projektuojant pagal EC2 projektavimo normas, rezultatai lyginant su santvaros metodu gaunami apie 1,13-1,21 karto didesni, priklausomai nuo perdangos plokštės storio.

Remiantis $V_{Rd,s}$ priklausomybės nuo perdangos plokštės storio diagrama (žr. 17 pav.) ir rezultatų lentele (žr. 6 lent.) matoma, jog perdangos plokštės praspaudžiamosios galios įvertinant skersinės armatūros ir esant lenkimo momentui kolonoje, analizuojant perdangos plokštę pagal skirtingas projektavimo metodikas, rezultatai gaunasi sąlyginai skirtingi. Lyginant santvaros metodu gautas analizuojamo parametro reikšmės su STR matome, jog esant 250 mm storio perdangai, rezultatai gaunasi beveik identiškai, tačiau esant plonesnei ar storesnei perdangos plokštei – rezultatai skiriasi. Taip pat lyginant santvaros metodą su EC2 projektavimo normomis matome, jog esant 200 mm storio perdangai, rezultatai gaunasi panašūs, tačiau didinant perdangos plokštės storį, pagal EC2 apskaičiuoti rezultatai gaunami žymiai didesni nei skaičiuojant pagal santvaros metodą.

3.3. Eksperimentiniai praspaudimo laikomosios galios tyrimai nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje

Išnagrinėjus įvairius literatūros šaltinius, išrinkti 97 bandymai, kuriuose buvo tiriamos gelžbetoninės perdangos plokštės praspaudimui be skersinės armatūros. Visi išrinkti bandymai buvo atlikti imituojant perdangos plokštės praspaudimą per kvadratinę koloną. Bandymuose plokštė buvo veikama tolygiai išskirstyta apkrova, todėl lenkimo momentas imituojamoje kolonoje nebuvo sukliamas. Bandymų duomenys ir rezultatai pateikti 4 lentelėje. Atliktų teorinių skaičiavimų pagal įvairias projektavimo normas ir pagal santvaros metodą rezultatai pateikti 5 lentelėje.

Išrinkti įvairūs perdangos plokščių bandiniai, kurių darbinis aukštis d kinta nuo 57 mm iki 356 mm. Betono stipris kinta nuo 19,5 MPa iki 119 MPa. Perdangos plokštės išilginio armavimo procentas varijuoja nuo 0,3 % iki 3,7 %. Įmituojamos kolonos matmenys kinta nuo 54 mm iki 450 mm.

Skaičiuojant pagal europietiškas normas EC2, STR ir taikant santvaros metodą praspaudimui skaičiuoti, betono stiprumą mažinantys koeficientai γ_c ir α_{cc} priimami lygus 1,0. Kadangi bandymų metu, imituojamose kolonose nebuvo sukliamas lenkimo momentas, todėl apkrovos didinimo koeficientas β priimtas lygus 1,0.

Vadovaujantis EC2, STR ir santvaros metodu praspaudimui skaičiuoti, perdangos plokštės išilginio armavimo procentas skaičiavimuose maksimaliai gali būti priimamas 2 %. Vadovaujantis šiuo

ribojimu visų išbandytų perdangos plokščių, kurių armavimo procentas viršija 2 %, armavimo procentas priimtas lygus 2 %. Skaičiuojant pagal amerikiečių normas ACI318, maksimalus betono stipris gali būti priimamas 70 MPa. Skaičiuojant teorines reikšmes šio ribojimo buvo laikomasi. Teoriniai skaičiavimai pagal SNIIP normas šiems bandiniams nebuvo atlikti, kadangi skaičiuojant pagal SNIIP normas, reikalingas betono tempiamasis stipris, o bandinių aprašymuose būtent šis stipris nėra pateikiamas.

4 lentelė. Eksperimentinių praspaudimo laikomosios galios tyrimų nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje duomenys ir rezultatai

Autorius	Bandinys	d, mm	C, mm	f _c , MPa	ρ _l , %	V _{test} , kN
Nolthing [26]	2	114	287	23,4	1,06	362
	3	114	287	25,7	1,15	309
	4	57	115	29,1	0,72	86
	5	57	115	29,2	1,63	113
	6	356	402	24,9	0,37	2114
	7	356	402	25,3	0,39	2202
S. M. Allam [26]	S-1	75	100	40	0,92	170
S. H. Meisami [26]	CS-43	94	150	42,4	0,3	242
A. P. Ramos [26]	AR2	80	200	49	2,34	258
	AR3	80	200	48,9	2,34	270
	AR4	80	200	46,8	2,34	252
	AR5	80	200	53,9	2,34	251
	AR6	80	200	44,6	2,34	250
	AR7	80	200	46,2	2,34	288
	BD1	101	100	54,8	0,89	293
	BD2	101	100	52,8	0,89	268
	BD4	101	100	46	0,89	293
	BD5	101	100	41,4	0,89	208
	BD6	101	100	43,3	0,89	225
	BD7	101	100	44,2	0,89	221
	BD8	101	100	41,1	0,89	221
B. Wiczorek [26]	A-1	164	400	23,9	0,74	540
	E-2	200	400	23,9	0,74	623
	K-3	200	400	23,9	0,74	639
Perez. Caldentey [26]	1	200	450	37,2	1,07	974
	2	200	450	37,6	1,07	956
A. Abdullah [26]	RS0	118	250	35,5	0,48	284
Urban [26]	Pm1/1-0.8	98	160	26,7	0,81	210
	Pm1/1-1.5	99	160	23,9	1,43	260
	Pd1/1-1.5	99	320	30,1	1,43	360
Oliveria et. [26]	L1b	108	120	59	1,04	322

	L1c	107	120	59	1,04	318
Teng et. [26]	OC11	105	200	36	1,81	423
Elstner and Hognestad [20]	A-1b	118	254	25,2	1,2	365
	A-1c	118	254	29	1,2	356
	A-1d	118	254	36,6	1,2	351
	A-1e	118	254	20,3	1,2	356
	A-2b	114	254	19,5	2,5	400
	A-2c	114	254	37,4	2,5	467
	A-7b	114	254	27,9	2,5	512
	A-3b	114	254	22,6	3,7	445
	A-3c	114	254	36,5	3,7	534
	A-3d	114	254	34,5	3,7	547
	A-4	118	356	26,1	1,2	400
	A-5	114	356	27,8	2,5	534
	B-9	114	254	43,9	2	505
	B-14	114	254	50,5	3	578
Moe [21]	S1-60	114	254	23,3	1,1	389
	S1-70	114	254	24,5	1,1	393
	S5-60	114	203	22,2	1,1	343
	S5-70	114	203	23	1,1	378
	H1	114	254	26,1	1,1	372
	M1A	114	305	20,8	1,5	433
Regan [22]	1/2	77	200	23,4	1,2	176
	1/4	77	200	32,3	0,9	194
	1/6	79	200	21,9	0,8	165
	1/7	79	200	30,4	0,8	186
	2/1	200	250	34,9	1	825
	2/2	128	160	33,3	1	390
	2/3	128	160	34,3	1	365
	2/4	64	80	33,3	1	117
	2/5	64	80	34,3	1	105
	2/6	64	80	36,2	1	105
	3/1	95	150	23,2	0,8	197
	3/3	95	150	37,8	0,8	214
	3/5	93	150	26,8	1,5	214
	3/6	93	150	42,6	1,5	248
	5/1	118	54	34,3	0,8	170
	5/2	118	170	32,2	0,8	280
	5/3	118	110	32,4	0,8	265
5/4	118	102	36,2	0,8	285	

Marzouk and Hussein [17]	HS2	95	150	70	0,7	249
	HS3	95	150	69	1,2	356
	HS4	90	150	66	2,1	418
	HS7	95	150	74	0,9	356
	HS8	120	150	69	1	436
	HS9	120	150	74	1,5	543
	HS10	120	150	80	2,1	645
	HS11	70	150	70	0,7	196
	HS12	70	150	75	1,2	258
	HS13	70	150	68	1,6	267
	HS14	95	220	72	1,2	498
	HS15	95	300	71	1,2	560
	NS1	95	150	42	1,2	320
	Tomaszewicz [15]	65-1-1	275	200	64,3	1,5
65-2-1		200	150	70,2	1,7	1200
95-1-1		275	200	83,7	1,5	2250
95-1-3		275	200	89,9	2,5	2400
95-2-1		200	150	88,2	1,7	1100
95-2-1D		200	150	86,7	1,7	1300
95-2-3		200	150	89,5	2,6	1450
95-2-3D		200	150	80,3	2,6	1250
95-2-3D+		200	150	98,0	2,6	1450
95-3-1		88	100	85,1	1,8	330
115-1-1		275	200	112,0	1,5	2450
115-2-1		200	150	119,0	1,7	1400
115-2-3		200	150	108,1	2,6	1550

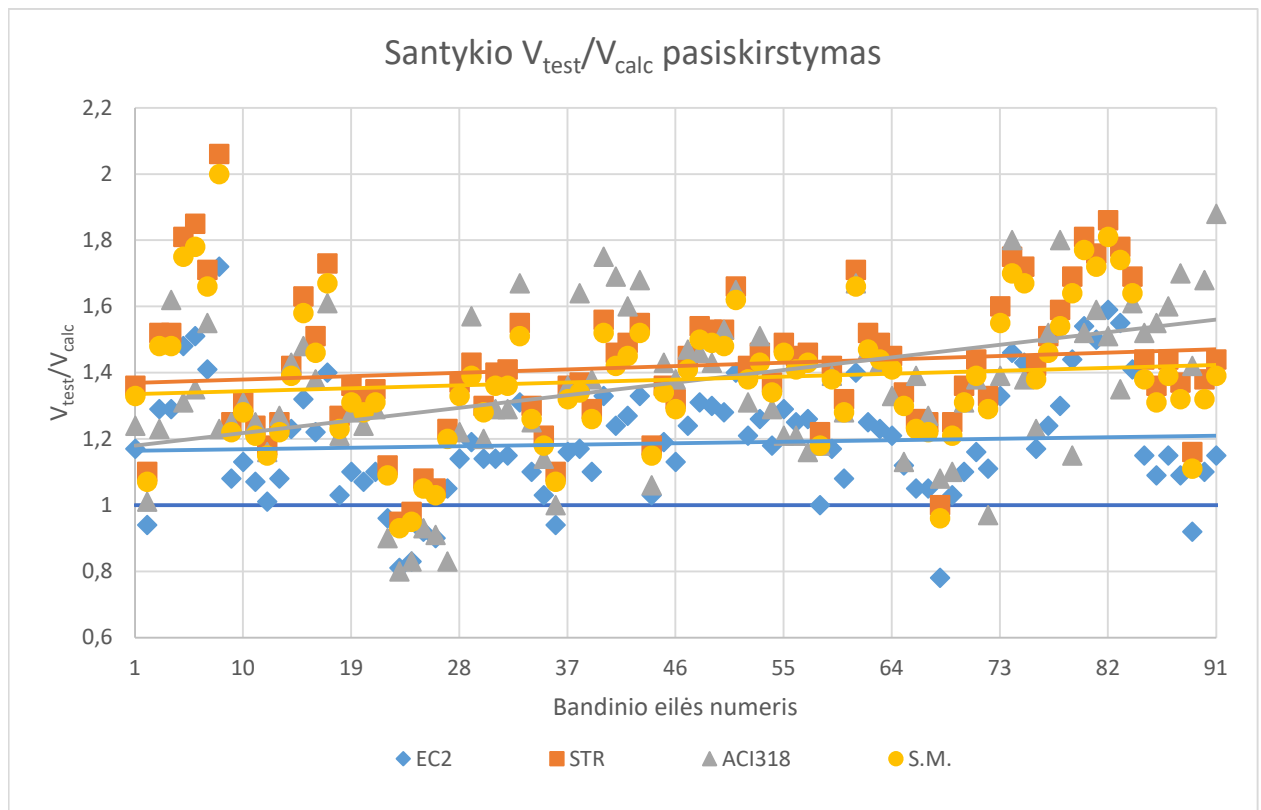
5 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje palyginimo rezultatai

Autorius	Bandinys	V_{test} , kN	V_{EC2} , kN	V_{STR} , kN	V_{ACI} , kN	$V_{S.M.}$, kN	$V_{test}/$ V_{EC2}	$V_{test}/$ V_{STR}	$V_{test}/$ V_{ACI}	$V_{test}/$ $V_{san.}$
Nolthing [26]	2	362	309	266	292	272	1,17	1,36	1,24	1,33
	3	309	327	282	306	289	0,94	1,10	1,01	1,07
	4	86	67	56	70	58	1,29	1,52	1,23	1,48
	5	113	87	74	70	76	1,29	1,52	1,62	1,48
	6	2114	1429	1166	1615	1206	1,48	1,81	1,31	1,75
	7	2202	1462	1193	1627	1234	1,51	1,85	1,35	1,78
S. M. Allam [26]	S-1	170	121	99	110	103	1,41	1,71	1,55	1,66
S. H. Meisami [26]	CS-43	242	141	117	197	121	1,72	2,06	1,23	2,00
A. P. Ramos [26]	AR2	258	240	206	207	211	1,08	1,25	1,25	1,22
	AR3	270	240	206	207	211	1,13	1,31	1,31	1,28

	AR4	252	236	203	202	208	1,07	1,24	1,25	1,21
	AR5	251	247	213	217	218	1,01	1,18	1,16	1,15
	AR6	250	232	200	197	205	1,08	1,25	1,27	1,22
	AR7	288	235	202	201	207	1,23	1,42	1,43	1,39
	BD1	293	222	180	198	186	1,32	1,63	1,48	1,58
	BD2	268	219	177	195	184	1,22	1,51	1,38	1,46
	BD4	293	209	169	182	175	1,40	1,73	1,61	1,67
	BD5	208	202	164	172	169	1,03	1,27	1,21	1,23
	BD6	225	205	166	176	172	1,10	1,36	1,28	1,31
	BD7	221	206	167	178	173	1,07	1,32	1,24	1,28
	BD8	221	201	163	172	169	1,10	1,35	1,29	1,31
B. Wieczorek [26]	A-1	540	563	484	597	496	0,96	1,12	0,90	1,09
	E-2	623	772	654	774	672	0,81	0,95	0,80	0,93
	K-3	639	772	654	774	672	0,83	0,98	0,83	0,95
Perez. Caldentey [26]	1	974	1060	906	1047	929	0,92	1,08	0,93	1,05
	2	956	1064	909	1052	933	0,90	1,05	0,91	1,03
A. Abdullah [26]	RS0	284	271	231	342	237	1,05	1,23	0,83	1,20
Urban [26]	Pm1/1-0.8	210	184	154	172	158	1,14	1,37	1,22	1,33
	Pm1/1-1.5	260	218	182	165	187	1,19	1,43	1,57	1,39
	Pd1/1-1.5	360	315	276	300	282	1,14	1,30	1,20	1,28
Oliveria et. [26]	L1b	322	282	230	250	238	1,14	1,40	1,29	1,36
	L1c	318	277	226	246	234	1,15	1,41	1,29	1,36
Teng et. [26]	OC11	423	322	272	254	280	1,31	1,55	1,67	1,51
Elstner and Hognestad [20]	A-1b	365	331	282	291	289	1,10	1,30	1,25	1,26
	A-1c	356	347	295	312	303	1,03	1,21	1,14	1,18
	A-1d	351	375	319	351	327	0,94	1,10	1,00	1,07
	A-1e	356	308	262	261	269	1,16	1,36	1,36	1,32
	A-2b	400	341	291	245	298	1,17	1,37	1,64	1,34
	A-2c	467	423	361	339	371	1,10	1,29	1,38	1,26
	A-7b	512	384	328	293	336	1,33	1,56	1,75	1,52
	A-3b	445	358	306	263	314	1,24	1,46	1,69	1,42
	A-3c	534	420	359	335	368	1,27	1,49	1,60	1,45
	A-3d	547	412	352	325	361	1,33	1,55	1,68	1,52
	A-4	400	389	340	377	347	1,03	1,18	1,06	1,15
	A-5	534	447	391	373	400	1,19	1,36	1,43	1,34
	B-9	505	447	381	367	391	1,13	1,32	1,38	1,29
	B-14	578	468	400	394	410	1,24	1,45	1,47	1,41
Moe [21]	S1-60	389	296	253	267	260	1,31	1,54	1,46	1,50
	S1-70	393	301	257	274	264	1,30	1,53	1,43	1,49
	S5-60	343	267	225	225	231	1,28	1,53	1,53	1,48

	S5-70	378	270	227	229	234	1,40	1,66	1,65	1,62	
	H1	372	308	263	283	270	1,21	1,42	1,31	1,38	
	M1A	433	343	296	288	303	1,26	1,46	1,51	1,43	
Regan [22]	1/2	176	149	129	136	132	1,18	1,37	1,29	1,34	
	1/4	194	151	130	160	133	1,29	1,49	1,21	1,46	
	1/6	165	132	114	136	117	1,25	1,45	1,21	1,41	
	1/7	186	148	127	160	130	1,26	1,46	1,16	1,43	
	2/1	825	827	679	702	701	1,00	1,22	1,18	1,18	
	2/2	390	333	274	281	283	1,17	1,42	1,39	1,38	
	2/3	365	337	276	285	286	1,08	1,32	1,28	1,28	
	2/4	117	83	68	70	71	1,40	1,71	1,67	1,66	
	2/5	105	84	69	71	71	1,25	1,52	1,47	1,47	
	2/6	105	86	70	73	73	1,23	1,49	1,43	1,44	
	3/1	197	162	135	148	139	1,21	1,45	1,33	1,41	
	3/3	214	191	159	189	164	1,12	1,34	1,13	1,30	
	3/5	214	203	169	154	174	1,05	1,26	1,39	1,23	
	3/6	248	237	198	195	204	1,05	1,25	1,27	1,22	
	5/1	170	218	170	157	177	0,78	1,00	1,08	0,96	
	5/2	280	271	225	255	232	1,03	1,25	1,10	1,21	
	5/3	265	242	195	202	202	1,10	1,36	1,31	1,31	
	5/4	285	247	198	206	206	1,16	1,44	1,38	1,39	
	Marzouk and Hussein [17]	HS2	249	224	187	257	193	1,11	1,33	0,97	1,29
		HS3	356	267	223	255	230	1,33	1,60	1,39	1,55
HS4		418	286	239	232	246	1,46	1,75	1,80	1,70	
HS7		356	249	207	257	214	1,43	1,72	1,38	1,67	
HS8		436	374	307	355	317	1,17	1,42	1,23	1,38	
HS9		543	438	359	358	371	1,24	1,51	1,52	1,46	
HS10		645	494	406	358	419	1,30	1,59	1,80	1,54	
HS11		196	136	116	170	119	1,44	1,69	1,15	1,64	
HS12		258	167	142	170	146	1,54	1,81	1,52	1,77	
HS13		267	178	152	168	156	1,50	1,76	1,59	1,72	
HS14		498	314	268	330	275	1,59	1,86	1,51	1,81	
HS15		560	360	315	414	322	1,55	1,78	1,35	1,74	
NS1		320	227	189	199	195	1,41	1,69	1,61	1,64	
Tomaszewicz [15]	65-1-1	2050	1790	1427	1349	1482	1,15	1,44	1,52	1,38	
	65-2-1	1200	1104	881	773	915	1,09	1,36	1,55	1,31	
	95-1-1	2250	1954	1558	1408	1618	1,15	1,44	1,60	1,39	
	95-1-3	2400	2203	1756	1408	1823	1,09	1,37	1,70	1,32	
	95-2-1	1100	1191	951	773	987	0,92	1,16	1,42	1,11	
	95-2-1D	1300	1184	945	773	981	1,10	1,38	1,68	1,32	

	95-2-3	1450	1263	1008	773	1047	1,15	1,44	1,88	1,39
	95-2-3D	1250	1218	973	773	1010	1,03	1,29	1,62	1,24
	95-2-3D+	1450	1302	1039	773	1079	1,11	1,40	1,88	1,34
	95-3-1	330	255	208	183	215	1,29	1,58	1,81	1,53
	115-1-1	2450	2154	1716	1408	1783	1,14	1,43	1,74	1,37
	115-2-1	1400	1316	1050	773	1091	1,06	1,33	1,81	1,28
	115-2-3	1550	1345	1074	773	1115	1,15	1,44	2,00	1,39



18 pav. Perdangos plokščių be skersinės armatūros bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas

Pagal pateiktą grafiką (žr. pav. 18) matome, kad daugumos bandinių eksperimentinės galios ir teorinės laikomosios galios santykis viršija 1,0, kas reiškia, jog projektavimo normose pateiktos formulės įvertina galimas paklaidas ir sumažina teorinį perdangos plokštės stiprumą siekiant apsidrausti.

Verta paminėti, kad bandinių (A-1, E-2, K-3, 1, 2), kuriuose laikomosios galios santykis gaunasi mažesnis už 1,0, imituojamos kolonos kraštinės matmuo siekia 400 mm ir 450 mm. Visų kitų bandinių kolonos kraštinių matmenys yra sąlyginai mažesni, todėl galime padaryti išvadą, jog esant didesniai praspaudimo perimetrui gaunami bandinių laikomosios galios rezultatai gaunami šiek tiek mažesni už teoriškai apskaičiuotas galias.

Vadovaujantis diagramoje pateiktomis tiesėmis galime teigti, jog projektuojant pagal STR gaunama didžiausia skaičiavimo atsarga, kuri siekia maždaug 1,42. Projektuojant vadovaujantis santvaros metodu ir ACI318 normomis, skaičiavimo atsarga gaunasi 1,38. Skaičiuojant pagal EC2 skaičiavimo atsarga gaunasi 1,19.

Skaičiuojant pagal amerikiečių normas matome netolygų eksperimentinės galios ir teorinės galios santykio pasiskirstymą, kas rodo, jog skaičiavimų rezultatai nėra visiškai dėsningi. Dėsningumo nebuvimą gali lemti tai, jog ACI318 projektavimo normose nėra vertinamas perdangos plokštės išilginis armavimas, kuris vadovaujantis eksperimentiniais rezultatais matome, jog įtakos turi.

3.4. Eksperimentiniai praspaudimo laikomosios galios tyrimai įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje

Išnagrinėjus įvairius literatūros šaltinius, išrinkti 25 bandymai, kuriuose buvo tiriamos gelžbetoninės perdangos plokštės praspaudimui su skersine armatūra. Visi išrinkti bandymai buvo atlikti imituojant perdangos plokštės praspaudimą per kvadratinę koloną. Bandymuose plokštė buvo veikama tolygiai išskirstyta apkrova, todėl lenkimo momentas imituojamoje kolonoje nebuvo sukeliamas. Bandymų duomenys ir rezultatai pateikti 8 lentelėje. Atliktų teorinių skaičiavimų pagal įvairias projektavimo normas ir pagal santvaros metodą rezultatai pateikti 6 lentelėje.

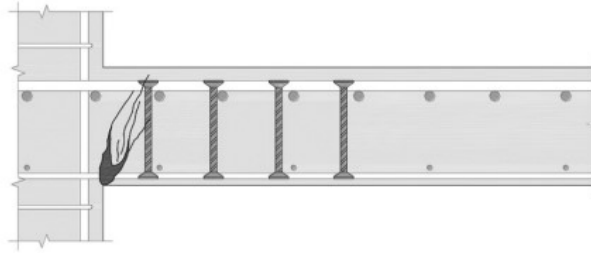
Išrinkti įvairūs perdangos plokščių bandiniai, kurių darbinis aukštis d kinta nuo 124 mm iki 260 mm. Betono stipris kinta nuo 29 MPa iki 42 MPa. Perdangos plokštės išilginio armavimo procentas varijuoja nuo 1,1 % iki 1,64 %. Įmituojamos kolonos matmenys kinta nuo 200 mm iki 350 mm. Skersinės armatūros įtempiai kinta tarp 393 MPa iki 535 MPa. Bandiniuose naudota įvairių parametru skersinė armatūra: diametras kinta nuo 6 mm iki 12,7 mm, atstumas tarp skersinės armatūros – nuo 60 mm iki 195 mm, skersinės armatūros atšakų kiekis – nuo 8 iki 12.

Taip pat kaip ir 3.3. skyriuje aprašytuose skaičiavimuose visi medžiagų stiprumą mažinantys ir įtempius didinantys koeficientai priimami lygus 1,0. Kadangi nagrinėjamuose bandiniuose armavimo procentas neviršija 2,0 % ir betono stipris neviršija 70 MPa, todėl atliktuose teoriniuose skaičiavimuose šių reikšmių riboti nereikia. Teoriniai skaičiavimai pagal SNiP normas šiems bandiniams taip pat nebuvo atlikti, kadangi skaičiuojant bandymų aprašymuose nėra pateikti betono tempiamieji stipriai.

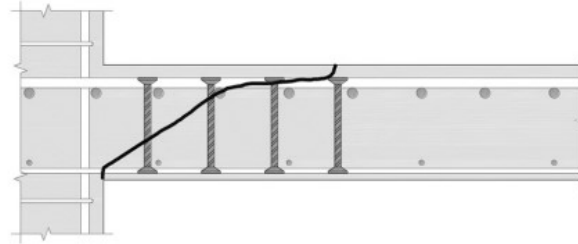
Verta paminėti, jog projektuojant pagal EC2 normas, perdangos plokštės laikomoji galia įvertinant skersinę armatūrą yra ribojama ($V_{Rd,cs,max}=1,5V_{Rd,c}$). Dėl šio ribojimo nemaža dalis apskaičiuotų teorinių reikšmių yra prilyginamos maksimaliai vertei ir todėl gaunamos perdangos plokštės irties vietos nesutampa su eksperimentinių bandymų irties vietomis.

Atliekant praspaudimo bandymus su skersine armatūra yra trys galimi irties būdai:

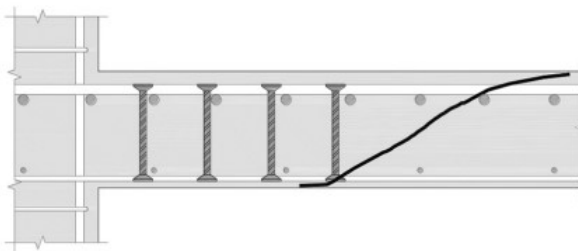
- Suirimas per skersinę armatūrą (suirinimo sutartinis žymėjimas - In) (žr. 20 pav.);
- Suirimas už skersinės armatūros per betona (suirinimo sutartinis žymėjimas - Out) (žr. 21 pav.);
- Gniuždomo spyrio suirimas ties kolonos perimetru (suirinimo sutartinis žymėjimas - Max) (žr. 19 pav.).



19 pav. Gniuždomo spyrio suirimas (suirimo sutartinis žymėjimas - Max)



20 pav. Suirimas per skersinę armatūrą (suirimo sutartinis žymėjimas - In)



21 pav. Suirimas už skersinės armatūros per betoną (suirimo sutartinis žymėjimas - Out)

6 lentelė. Eksperimentinių praspaudimo laikomosios galios tyrimų įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje duomenys ir rezultatai

Autorius	Bandinys	C, mm	d, mm	ρ_l , %	f_y , MPa	f_c , MPa	n_{sw} , vnt.	d_{sw} , mm	n, vnt.	s_o , mm	s_r , mm	S_{tmax} , mm	V_u , kN	Irties vieta
Ferreira [18]	S1	300	145	1,46	535	48	12	10	2	70	100	177	1022	Out
	S2	300	143	1,48	535	49	12	10	4	70	100	280	1128	In
	S7	300	143	1,48	518	49	12	12,5	4	70	100	280	1197	Out
Regam and Sanadian [18]	R3	200	160	1,26	442	33	8	12	4	80	120	413	850	Out
	R4	200	160	1,26	442	39	8	12	6	80	80	444	950	Out
	A1	200	160	1,64	519	37	8	10	6	80	80	444	1000	Out
	A2	200	160	1,64	519	43	8	10	4	80	120	413	950	In
Gomes and Regan [18]	2	200	153	1,32	430	34	8	6	2	80	80	255	693	In
	3	200	158	1,27	430	39	8	6,9	2	80	80	255	773	In
	4	200	159	1,27	430	32	8	8	3	80	80	368	853	Out
	5	200	159	1,27	430	35	8	10	4	80	80	481	853	Out

	6	200	159	1,27	430	37	8	10	4	80	80	323	1040	Out
	7	200	159	1,27	430	34	8	12	5	80	80	385	1120	Out
	8	200	159	1,27	430	34	8	12	6	80	80	447	1200	Out
	10	200	154	1,31	430	35	8	6	5	80	80	385	800	In
	11	200	154	1,31	430	35	8	6,9	5	80	80	385	907	In
Birkle [19]	2	250	124	1,53	393	29	8	9,5	6	45	90	721	574	In
	3	250	124	1,53	393	32	8	9,5	6	45	90	495	572	In
	4	250	124	1,53	465	38	8	9,5	5	30	60	403	636	Out
	5	250	124	1,53	465	36	8	9,5	5	30	60	403	624	Out
	6	250	124	1,53	465	33	8	9,5	5	30	60	330	615	Out
	8	300	190	1,29	460	35	8	9,5	5	50	100	658	1050	In
	9	300	190	1,29	460	35	8	9,5	6	75	150	118	1091	In
	11	350	260	1,1	409	30	8	12,7	5	65	130	856	1620	In
	12	350	260	1,1	409	34	8	12,7	6	95	195	1541	1520	In

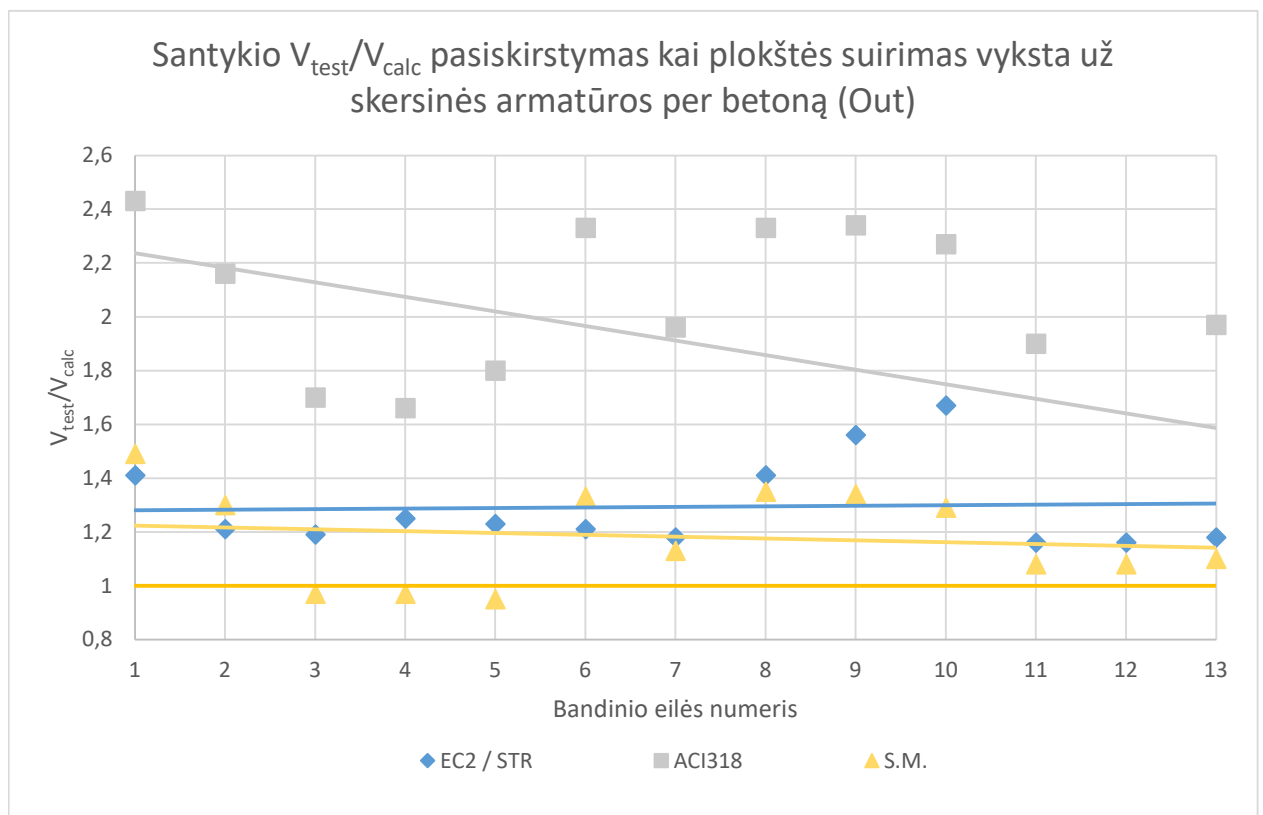
7 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių praspaudimo laikomosios galios skaičiavimų įvertinant skersinę armatūrą ir nevertinant lenkimo momento kolonoje palyginimo rezultatai

Autorius	Eksperimentiniai duomenys			EC2 duomenys			STR duomenys			ACI318 duomenys			S.M. duomenys		
	Nr.	V _{test} , kN	I. V.	V _{cal} , kN	I. V.	V _{test} / V _{cal}	V _{cal} , kN	I. V.	V _{test} / V _{cal}	V _{cal} , kN	I. V.	V _{test} / V _{cal}	V _{cal} , kN	I. V.	V _{test} / V _{cal}
Ferreira [18]	S1	1022	Out	727	In*	1,41	727	In	1,41	420	In	2,43	684	Out	1,49
	S2	1128	In	965*	In	1,17	988	In	1,14	1009	In	1,12	1501	Out	0,75
	S7	1197	Out	991	In*	1,21	991	Out	1,21	553	Out	2,16	922	Out	1,30
Regam and Sanadian [18]	R3	850	Out	716	In*	1,19	716	Out	1,19	500	In	1,70	880	Out	0,97
	R4	950	Out	757	In*	1,25	757	Out	1,25	571	Out	1,66	978	Out	0,97
	A1	1000	Out	812	In*	1,23	812	In	1,23	556	In	1,80	1049	Out	0,95
	A2	950	In	866	In	1,10	938	In	1,22	878	In	1,30	933	In	1,02
Gomes and Regan [18]	2	693	In	587	In	1,18	516	In	1,34	497	In	1,40	414	In	1,67
	3	773	In	693	In	1,12	615	In	1,26	601	In	1,29	566	In	1,37
	4	853	Out	703	In	1,21	703	In	1,21	366	In	2,33	644	In	1,33
	5	853	Out	724	Out	1,18	724	Out	1,18	434	Out	1,96	755	Out	1,13
	6	1040	Out	738	In	1,41	738	In	1,41	447	In	2,33	769	Out	1,35
	7	1120	Out	717	In*	1,56	717	Out	1,56	479	In	2,34	839	Out	1,34
	8	1200	Out	717	In*	1,67	717	In	1,67	529	In	2,27	929	Out	1,29
	10	800	In	595	In	1,34	523	In	1,53	505	In	1,58	417	In	1,92
	11	907	In	656	In	1,38	584	In	1,55	564	In	1,61	552	In	1,64
Birkle [19]	2	574	In	606*	Out	0,95	586	Out	0,98	557	In	1,03	684	Out	0,84
	3	572	In	627*	Out	0,91	595	Out	0,96	569	In	1,00	684	Out	0,84
	4	636	Out	547	Out	1,16	547	Out	1,16	335	Out	1,90	587	Out	1,08

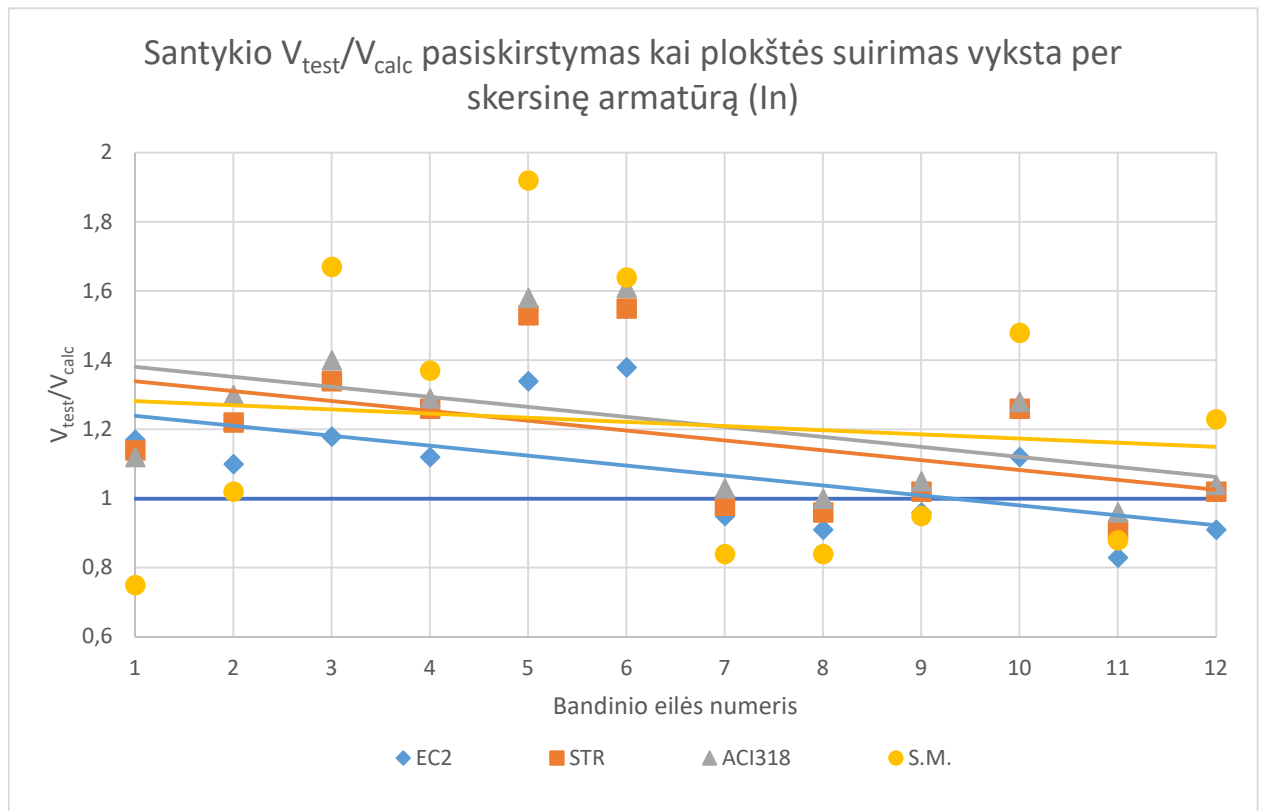
	5	624	Out	537	Out	1,16	537	Out	1,16	326	Out	1,92	577	Out	1,08
	6	615	Out	521	Out	1,18	521	Out	1,18	312	Out	1,97	560	Out	1,10
	8	1050	In	1099	Out	0,96	1027	In	1,02	1003	In	1,05	1104	Out	0,95
	9	1091	In	976	In	1,12	867	In	1,26	852	In	1,28	736	In	1,48
	11	1620	In	1944	Out	0,83	1771	Out	0,91	1689	Out	0,96	1847	Out	0,88
	12	1520	In	1667	Out	0,91	1487	In	1,02	1468	In	1,04	1231	In	1,23

čia * – parametrai, kuriuose priimta ribinė plokštės laikomoji galia įvertinant skersinę armatūrą ($V_{Rd,cs,max}=1,5V_{Rd,c}$). Vietose, kur šis sutartinis žymėjimas pateiktas prie irties vietos žymėjimo reiškia, jog netaikant ribinės reikšmės, irties vieta būtų už skersinės armatūros “Out”;

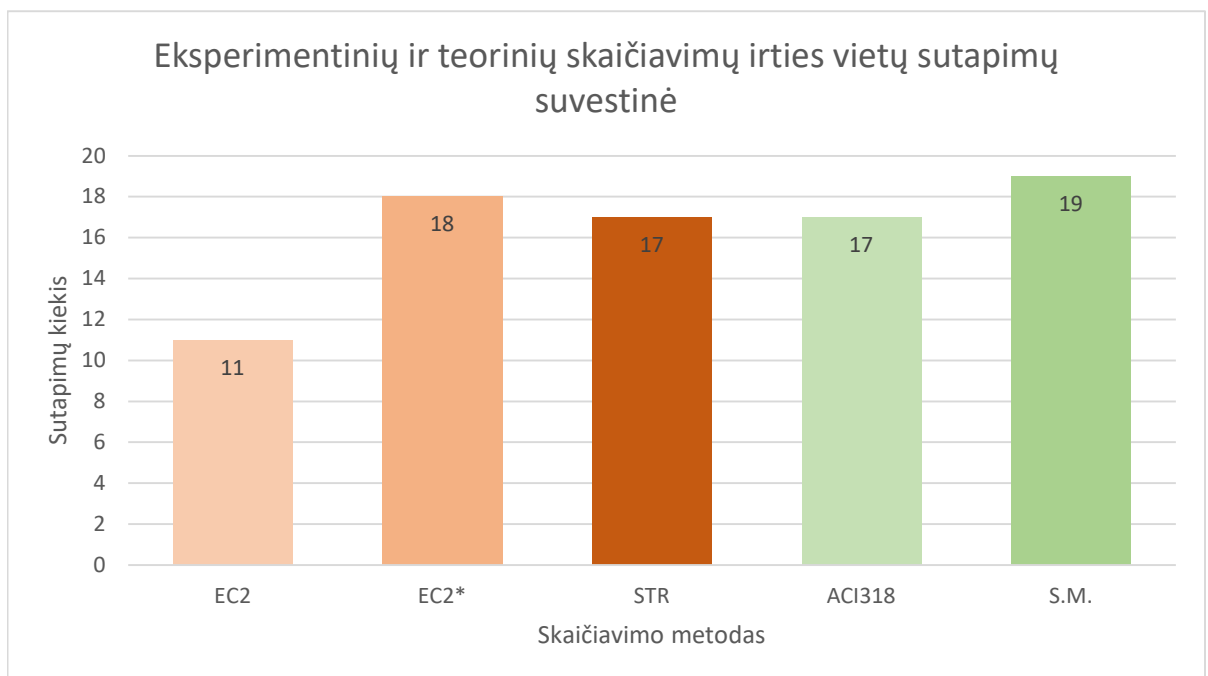
I.V. – irties vieta.



22 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas, kai plokštės suirinimas vyksta už skersinės armatūros per betoną (Out)



23 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių galių santykio pasiskirstymas, kai plokštės suirinimas vyksta per skersinę armatūrą (In)



24 pav. Perdangos plokščių su skersine armatūra bandymų ir teorinių irties vietų sutapimų suvestinė

Pagal rezultatų lentelę (žr. lent. 7) ir grafikus (žr. pav. 22 ir 23) matome, jog nemažai yra bandinių, kurie suiro nepasiekus teoriškai apskaičiuotos laikomosios galios, t.y. santykis tarp eksperimentinės galios ir teoriškai apskaičiuotos galios gaunasi mažesnis už 1,0.

Vadovaujantis rezultatų diagrama (žr. pav. 22) galime teigti, jog taikant EC2 ir STR projektavimo normas praspaudžiamą stiprio išoriniame perimetre apskaičiavimui, gauname patikimiausius rezultatus, kadangi nei vieno bandinio eksperimentinė suirimo galia nebuvo mažesnė už teoriškai apskaičiuotą galią. Skaičiuojant pagal EC2 ir STR, palyginus eksperimentines galias su teorinėmis gauta, jog skaičiavimo atsargos vidurkis siekia 29 %. Projektuojant pagal santvaros metodą, yra keletas bandinių, kurie suiro prieš pasiekiant teoriškai apskaičiuotą laikomąją galią. Atsargos vidurkis projektuojant pagal santvaros metodą gaunamas 18 %. Tuo tarpu projektuojant pagal amerikiečių normas ACI318 rezultatai žymiai skiriasi nuo kitų projektavimo normų rezultatų. Pagal šias normas gaunama, jog teoriškai apskaičiuotos vertės yra nuo 1,66 iki 2,43 karto mažesnės už eksperimentiškai gautas vertes. Atsargos vidurkis pagal ACI318 projektavimo normas gaunasi 107%. Tokia didelė atsarga gaunasi todėl, nes ACI318 normose pateiktoje formulėje priimamas betono praspaudžiamasis stiprumas be skersinės armatūros skaičiuojant perimetrą už paskutinės skersinės armatūros apkabos yra beveik dvigubai mažesnis už betono praspaudžiamąjį stiprumą, kuris yra apskaičiuojamas tikrinant pagrindinį pradinį praspaudimo perimetrą, kuris nuo kolonos yra nutolęs 0,5 d atstumu.

Vadovaujantis rezultatų diagrama (žr. pav. 23) ir rezultatų lentelė (žr. lent. 7) galime teigti, jog taikant EC2 projektavimo normas praspaudžiamą stiprio per skersinę armatūrą apskaičiavimui, gauname mažiausią skaičiavimo atsargą, tačiau negalime teigti, jog skaičiavimai yra visiškai saugūs, kadangi net 5 iš 12 bandinių buvo gauti, jog eksperimentinė galia buvo mažesnė už teoriškai apskaičiuotą laikomąją galią. Skaičiavimo atsarga naudojant EC2 gauta 9 %. Pagal kitas skaičiavimo metodikas (STR, ACI318, S.M.) gauta, jog skaičiavimo atsarga svyruoja nuo 18 % iki 22 %. Verta paminėti, jog taikant santvaros metodą projektuojant plokštes, kuriuose numatoma nedaug skersinės armatūros, laikomoji plokštės galia gaunama nedidelė, nes projektuojant pagal šį metodą, plokštės praspaudimo laikomąją galią sudaro tik vienas dėmuo, kuris įvertina tik armatūrą, t.y. betono stiprumo indėlis nėra vertinamas, priešingai nei projektavimo normose aprašytuose metoduose, kur plokštės praspaudimo galia susideda iš betono ir skersinės armatūros stiprumo dalių.

Vadovaujantis suirimo vietų sutapimų diagrama (žr. pav. 24) matoma, projektuojant pagal santvaros metodą, teorinės suirimo vietos sutapo su eksperimentinėmis 19-oje bandinių, taikant ACI318 normas – 17 bandinių, STR – 17, EC2 – 11. Jeigu skaičiuojant pagal EC2 būtų nepaisoma maksimalios perdangos plokštės laikomosios galios įvertinant skersinę armatūrą, tuomet sutapusių suirimo vietų skaičius siektų 18.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę pastebėta, jog didžioji dalis projektavimo normų ir kitų metodų taiko vienodą praspaudimo skaičiuojamąją schemą, tačiau įstrižojo plyšio kampas priimamas visose normose skirtingai. Taip pat išanalizavus keturias projektavimo normas (EC2, STR, ACI318, SNIp) pastebėta, jog projektuojant pagal EC2 ir STR skiriasi tik priimamas įstrižojo plyšio kampo dydis, o projektuojant pagal ACI318 ir SNIp – skiriasi ne tik įstrižojo plyšio kampas, bet ir visos formulės, kurios naudojamos perdangos plokštės praspaudimo stiprumams apskaičiuoti.
2. Tam, kad būtų galima pritaikyti EC2 aprašyto santvaros metodo formules perdangos plokštės praspaudimui skaičiuoti reikia modifikuoti skaičiuojamo elemento pločio parametą, betono stiprumą mažinančio koeficiento reikšmę ir įtraukti papildomą apkrovos didinimo koeficientą, kuris įvertina lenkimo momentą esantį kolonoje po nagrinėjos perdangos plokštės dalimi. Visos kitos EC2 aprašytos formulės tinka skaičiuojant perdangos plokštės praspaudimą.
3. Palyginus teorines perdangos plokštės praspaudimo laikomąsias galias tarp įvairių projektavimo normų nevertinant lenkimo momento kolonoje galime daryti išvadą, jog analizuojant $V_{Rd,max}$ parametą, konkrečių skaičiavimo metodų, pagal kuriuos gauta analizuojamo parametro vertė būtų visuomet didžiausia arba mažiausia – nėra. Nagrinėjant $V_{Rd,c}$ parametą matomas dėsningesnis nagrinėjamo parametro kitimas priklausomai nuo perdangos plokštės storio, kuris atitinkamai taikant ACI318 projektavimo normas gaunasi didžiausiais, o taikant STR – mažiausiais. Analizuojant $V_{Rd,s}$ parametą matome, jog didžiausios šio parametro reikšmės gaunamos taikant SNIp normas, o mažiausias priklausomai nuo perdangos plokštės storio – plonose plokštėse pagal STR, storesnėse plokštėse taikant santvaros metodą.
4. Palyginus teorines perdangos plokštės praspaudimo laikomąsias galias tarp EC2, STR ir S.M. įvertinant lenkimo momentą kolonoje, galima daryti keletą išvadų. Visų pirma, tai išvestas β koeficientas taikant santvaros metodą plonose plokštėse beveik sutampa su koeficientu, kuris gautas skaičiuojant pagal EC2 ir STR. Esant storesnėms perdangoms plokštėms koeficientas skiriasi beveik dvigubai. $V_{Rd,c}$ parametras taikant STR ir santvaros metodą nepriklausomai nuo perdangos plokštės storio gaunasi beveik identiškas. $V_{Rd,s}$ parametras skaičiuojant pagal S.M. priklausomai nuo perdangos plokštės storio gaunasi arba didesnis arba mažesnis už pagal STR apskaičiuotą reikšmę.
5. Palyginus eksperimentines ir teorines reikšmes nagrinėjant plokščių praspaudimo laikomąją galią nevertinant skersinės armatūros ir lenkimo momento kolonoje gauta, jog projektuojant pagal STR projektavimo atsarga vidutiniškai siekia 42%, projektuojant pagal ACI318 ir S.M. – 38%, pagal EC2 – 19%.
6. Palyginus eksperimentines ir teorines reikšmes nagrinėjant plokščių praspaudimo laikomąją galią įvertinus skersinę armatūrą ir neįvertinus lenkimo momento kolonoje gauta, jog projektuojant pagal EC2 ir STR, zonoje, kurioje nėra skersinės armatūros, atsargos vidurkis siekia 29 %, pagal S.M. – 18 %, pagal ACI318 – 107%. Nagrinėjant plokštės suirimą per skersinę armatūrą gauta, jog projektuojant pagal EC2 gaunama 9 % atsarga, o taikant kitus skaičiavimo metodus (STR, ACI318, S.M.) – nuo 18 % iki 22 %.
7. Vadovaujantis atliktais palyginamaisiais skaičiavimais galime padaryti išvadą, jog taikant santvaros metodą gauti rezultatai yra ganėtinai artimi rezultatams apskaičiuotiems pagal kitas projektavimo normas, todėl šį metodą būtų galima taikyti projektuojant perdangos plokščių praspaudžiamąjį stiprumą.

Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 1992-1-1:2005]. *Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2005.
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.05.05:2005, *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas* [interaktyvus]. Valstybės žinios, 2005-02-05, Nr. 17-550 [žiūrėta 2021-12-07]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.C8C4EF7FF7AE/asr>.
3. ACI COMMITTEE 318. ACI318-19, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute, 2019.
4. E. RIZK, H. MARZOUK, R. TILLER. Design of Thick Concrete Plates Using Strut-and-Tie Model. *ACI Structural Journal*. 2012, **109**(5), 677-686.
5. MOSLEY B., BUNGEY J., HULSE R. *Reinforced Concrete Design to Eurocode 2*. 7th ed. PALGRAVE MACMILLAN, 2012. ISBN-13: 9780230302853.
6. DE, MAURÍCIO & FERREIRA, MAURICIO & VÍCTOR, PAULO & SACRAMENTO, PAULO & FERREIRA, AARÃO & NETO, LIMA & RASSY TEIXEIRA, MARCELO. Punching strength of RC slabs with asymmetric point loads. *Acta Scientiarum Technology*. 2016, **38**(1), 71-80. ISSN: 1807-8664.
7. H. K. HILSDORF, W. BRAMESHUBER. Code-type formulation of fracture mechanics concepts for concrete. *International Journal of Fracture*. 1991, **51**, 61-72.
8. F. P. ZHOU, B. I. G. BARR, F. D. LYDON. Fracture properties of high strength concrete with varying silica fume content and aggregates. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. 1995, **25**(3), 543-552 [žiūrėta 2021-12-07]. ISSN 0008-8846. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00043-C](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00043-C).
9. CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. CSA-A23.3-04, *Design of Concrete Structures for Buildings*. Rexdale, ON, Canada, 2004.
10. H. MARZOUK, DAJIU JIANG. Experimental Investigation on Shear Enhancement Types for High-Strength Concrete Plates. *ACI Structural Journal*. 1997, **94**(1), 1-7.
11. СНИП 2.03.01-84*. [SNIP 2.03.01-84*] Бетонные и железобетонные конструкции, 1989.
12. ŠALNA, Remigijus. *Dispersinio armavimo įtaka gelžbetoninių besijų perdangos plokščių praspaudimui: daktaro disertacija* [interaktyvus]. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2008 [žiūrėta 2021-12-07]. Prieiga per: <http://talpykla.elaba.lt>.
13. GUANDALINI, STEFANO & BURDET, OLIVIER & MUTTONI, AURELIO. Punching Tests of Slabs with Low Reinforcement Ratios. *ACI Structural Journal*. 2009, **106**(1), 87-95.
14. ANDERMATT, MATTHIAS & LUBELL, ADAM. Strength Modeling of Concrete Deep Beams Reinforced with Internal FRP. *ACI Structural Journal*. 2013, **110**(4), 595-605.
15. SACRAMENTO, PAULO & FERREIRA, MAURICIO & OLIVEIRA, D. & MELO, GUILHERME. Punching strength of reinforced concrete flat slabs without shear reinforcement. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 2012, **5**(5). 659-691.
16. FERNÁNDEZ RUIZ, MIGUEL & MIRZAEI, YASER & MUTTONI, AURELIO. Post-Punching Behavior of Flat Slabs. *ACI Structural Journal*. 2013, **110**, 801-811.
17. H. MARZOUK, A. HUSSEIN. Experimental Investigation on the Behavior of High-Strength Concrete Slabs. *ACI Structural Journal*. 1991, **88**(6), 701-713.

18. FERREIRA, MAURICIO & MELO, GUILHERME & REGAN, PAUL & VOLLUM, ROBERT. Punching of Reinforced Concrete Flat Slabs with Double-Headed Shear Reinforcement. *ACI Structural Journal*. 2014, **111**(2), 363-374.
19. BIRKLE, Gerd. *Punching of Flat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layout: PhD thesis*. Department of Civil Engineering, University of Calgary, Calgary, AB, Canada, 2004.
20. R. C. ELSTNER, E. HOGNESTAD. Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs. *Journal of the American Concrete Institute*. 1956, **53**(1), 29-58.
21. JOHANNES, Moe. *Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings Under Concentrated Loads*. Development Department Bulletin D47, Portland Cement Association. 1961.
22. P. E. REGAN. Symmetric Punching of Reinforced Concrete Slabs. *Magazine of Concrete Research*. 1986, **136**, 115-128.
23. M. D. VANDERBILT. Shear Strength of Continuous Plates. *Journal of Structural Division*. 1972, **98**, 961-973.
24. LUIŽINAS, Deividas. *Lenkimo momento įtaka gelžbetoninių besijų perdangų praspaudimo stipriui: baigiamasis magistro darbas [interaktyvus]*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2018 [žiūrėta 2021-12-07]. Prieiga per: <http://talpykla.elaba.lt>.
25. MABROUK, RASHA & BAKR, AMR & ABDALLA, HANY. Effect of flexural and shear reinforcement on the punching behavior of reinforced concrete flat slabs. *Alexandria Engineering Journal* [interaktyvus]. 2017, 56(4), 591-599 [žiūrėta 2021-12-07]. ISSN 1110-0168. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.019>.
26. G. MARČIUKAITIS, R. ŠALNA. Gelžbetoninių besijų perdangos plokščių praspaudimo tyrimo ir skaičiavimo modelių analizė. *Statybinės konstrukcijos ir technologijos*. 2010, **2**(3), 93-100.
27. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 1992-1-1:2005+A1:2015], *Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.

Priedai

1 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal ACI318

Duomenys apie skaičiuojamą elementą

Geometrija

Kolonos plotis / aukštis $b_{kol} = 400 \text{ mm}$

Perdangos plokštės aukštis $h = 200 \text{ mm}$

Plokštės armavimas

Atstumas iki arm. centro $a_s = 50 \text{ mm}$

Darbinis aukštis $d = h - a_s = 150 \text{ mm}$

Betono ir armatūros charakteristikos

Betono stipris $f'_c = 30 \text{ MPa}$ (betono gniuždomasis stipris max gali būti 70 MPa)

Armatūros stipris $f_{yt} = 420 \text{ MPa}$

Iražos

Skersinė jėga $V_{Ed} = 500 \text{ kN}$

Praspaudimo perimetras

$$b_0 = 4 \cdot (b_{kol} + d) = 2200 \text{ mm}$$

Įtempiai

$$\text{Įtempiai ties praspaudimo perimetru} \quad v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_0 \cdot d} = 1,52 \text{ MPa}$$

Skaičiavimai

Bendri koeficientai

$$\lambda_{s,calc} = \sqrt{\frac{2 \text{ mm}}{1 \text{ mm} + 0,004 \cdot d}} = 1,12 \quad (\text{ACI318. p.22.5.5.1.3})$$

$$\lambda_s = \min \left(\left[\lambda_{s,calc} \quad 1 \right] \right) = 1$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{sunkiajam betonui - 1,0})$$

$$\alpha_s = 40 \quad (\text{vidinėm kolonom - 40, kampinėm - 20, šoninėm - 30})$$

$$\beta = \frac{b_{kol}}{b_{kol}} = 1 \quad (\text{koeficientas nusakantis santykį ilgosios / trumpiosios kolonos kraštines})$$

Praspaudžiamoji galia be skersinės armatūros

$$v_{c1} = 0,33 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 1,81 \text{ MPa}$$

$$v_{c2} = \left(0,17 + \frac{0,33}{\beta} \right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 2,74 \text{ MPa}$$

$$v_{c3} = \left(0,17 + \frac{0,083 \cdot \alpha_s \cdot d}{b_0} \right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 2,17 \text{ MPa}$$

$$v_{c,be} = \min \left(\left[v_{c1} \quad v_{c2} \quad v_{c3} \right] \right) = 1,81 \text{ MPa}$$

$$\text{Ribiniai betono įtempiai (nenumatyta skersinė arm.)} \quad v_{n,be} = v_{c,be} = 1,81 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

$$\text{if } v_{n,be} \geq v_{Ed} \quad = \text{"OK"}$$

"OK"

else

"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

$$\text{Įtempių konvertavimas į skersinę jėgą} \quad V_{n,be} = v_{n,be} \cdot b_0 \cdot d = 596,5 \text{ kN}$$

Praspaudžiamoji galia su skersine armatūra (naudojamos galvelinės jungtys)

$$v_{cd} = 0,25 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 1,37 \text{ MPa}$$

$$v_{cs} = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 2,79 \text{ MPa}$$

$$v_{c6} = 0,083 \cdot \left(2 + \frac{\alpha \cdot d}{b_0}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 2,15 \text{ MPa}$$

$$\text{Ribiniai betono įtempiai (įvertinant skersinę arm. buvimą)} \quad v_{c,su} = \min \left(\left[v_{cd} \quad v_{cs} \quad v_{c6} \right] \right) = 1,37 \text{ MPa}$$

$$\text{Skersinės armatūros diametras} \quad d_{sw} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Kiekis (t.y. kiek bus skersinės arm. radialinių atšakų)} \quad n_{sw} = 8$$

$$\text{Atstumas tarp atšakoje esančių skersinių strypų} \quad s = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Skersinės armatūros plotas} \quad A_v = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} = 628,3185 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ribinių įtempių skersinės arm. dedamoji} \quad v_s = \frac{A_v \cdot f_{yt}}{b_0 \cdot s} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Ribiniai įtempiai įvertinus skersinę arm.} \quad v_{n,su} = v_{c,su} + v_s = 2,17 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

$$\text{if } v_{n,su} \geq v_{Ed} \quad = \text{"OK"}$$

"OK"

else

"REIKIA DAUGIAU SKERSINĖS ARMATŪROS"

$$\text{Įtempių konvertavimas į skersinę jėgą} \quad V_{n,su} = v_{n,su} \cdot b_0 \cdot d = 715,8 \text{ kN}$$

Maksimali praspaudžiamoji galia (naudojamos galvelinės jungtys)

$$v_u = 0,66 \cdot \frac{d_{sw}}{cm} \cdot \sqrt{f'_c \text{ MPa}} = 3,61 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

$$\text{if } v_u \geq v_{Ed} \quad = \text{"OK"}$$

"OK"

else

"REIKIA DIDINTI PLOKŠTĖS SKERSPJŪVĮ"

$$\text{Įtempių konvertavimas į skersinę jėgą} \quad V_u = v_u \cdot b_0 \cdot d = 1192,9 \text{ kN}$$

2 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal EC2

Duomenys apie skaičiuojamą elementą

Geometrija

Kolonos plotis / aukštis $b_{kol} = 400 \text{ mm}$

Perdangos plokštės aukštis $h = 200 \text{ mm}$

Plokštės armavimas

Atstumas iki arm. $a_s = 50 \text{ mm}$

Darbinis aukštis $d = h - a_s = 0,15 \text{ m}$

Armavimo koef. $\rho_1 = 0,01$

Betono charakteristikos

Betono koeficientas $\alpha_{cc} = 0,9 \quad \gamma_c = 1,5$

Betono stipris char. $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Betono stipris skaič. $f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = 18 \text{ MPa}$

Irašos

Skersinė jėga ties kolonos kraštu $V_{Ed,f} = 500 \text{ kN}$

Skersinė jėga $V_{Ed} = V_{Ed,f} = 500 \text{ kN}$ (konservatyvumo dėlei priimama lygi $V_{Ed,f}$)

Lenkimo momentas $M_{Ed} = 0 \text{ kN m}$

Praspaudimo perimetrai

$u_0 = 4 \cdot b_{kol} = 1600 \text{ mm}$

$u_1 = 4 \cdot b_{kol} + \pi \cdot 4 \cdot d = 3485 \text{ mm}$

β koeficiento skaičiavimas

Kolonos kraštinė $c_1 = b_{kol} = 0,4 \text{ m}$

Kolonos kraštinė $c_2 = c_1 = 0,4 \text{ m}$

Koeficientas, priklausantis nuo c_1 / c_2 santykio $k = 0,6$

Koeficientas $W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 = 1,22 \text{ m}^2$

Koeficientas $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} = 1$

Itempiai

Itempiai ties skaičiuojamuoju perimetru $v_{Ed1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 0,9565 \text{ MPa}$

Itempiai ties kolonos perimetru $v_{Ed0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,f}}{u_0 \cdot d} = 2,0833 \text{ MPa}$

Skaičiavimai

Praspaudžiamoji galia be skersinės armatūros

Koeficientas $k = \min \left(\left[1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} \right], 2 \right) = 2$

Koeficientas $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$

Minimalus stiprumas be skersinės arm. $v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck} \text{ MPa})^{\frac{1}{2}} = 0,541 \text{ MPa}$

Stiprumas be skersinės arm. $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \text{ MPa}^2 \right)^{\frac{1}{3}} = 0,7457 \text{ MPa}$

Patikrinimas

if $\max \left(\left[v_{min} \quad v_{Rd,c} \right] \right) \geq v_{Ed1} = \text{"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"}$

"OK"

else

"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

Konventavimas | skersinę jėgą

$$V_{Rd,c,min} = \frac{v_{min} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 283,4 \text{ kN}$$

Konventavimas | skersinę jėgą

$$V_{Rd,c} = \frac{v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 389,8 \text{ kN}$$

Praspaudžiamoji galia su skersine armatūra

Skersinės armatūros diametras

$$d_{sw} = 10 \text{ mm}$$

Kiekis (t.y. kiek bus skersinės arm. radialinių atšakų)

$$n_{sw} = 8$$

Atstumas tarp atšakoje esančių skersinių strypų

$$s_r = 150 \text{ mm}$$

Skersinės armatūros plotas

$$A_{sw} = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} = 628,3185 \text{ mm}^2$$

Skersinės armatūros stipris

$$f_{ywd,ef} = 250 \text{ MPa} + 0,25 \cdot d \frac{\text{MPa}}{\text{mm}} = 287,5 \text{ MPa}$$

Stiprumas su skersine arm.

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot \left(\max \left(\left[v_{Rd,c} \quad v_{min} \right] \right) \right) + 1,5 \cdot \left(\frac{d}{s_r} \right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \left(\frac{1}{u_1 \cdot d} \right) = 1,0776 \text{ MPa}$$

Maksimalus stiprumas su skersine arm. $v_{Rd,cs,max} = 1,5 \cdot v_{Rd,c} = 1,12 \text{ MPa}$

Patikrinimas

if $\min \left(\left[v_{Rd,cs,max} \quad v_{Rd,cs} \right] \right) \geq v_{Ed1} = \text{"OK"}$

"OK"

else

"REIKIA DIDINTI ARM. KIEKĮ"

Konventavimas | skersinę jėgą

$$V_{Rd,cs} = \frac{v_{Rd,cs} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 563,3 \text{ kN}$$

Konventavimas | skersinę jėgą

$$V_{Rd,cs,max} = \frac{v_{Rd,cs,max} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 584,7 \text{ kN}$$

Maksimali praspaudžiamoji galia nepriklausomai nuo skersinės armatūros

Betono stiprumo mažinimo koef.

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0,528$$

Maksimalus plokštės stiprumas

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4,752 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

if $v_{Rd,max} \geq v_{Ed0} = \text{"OK"}$

"OK"

else

"NELAIKO"

Konventavimas | skersinę jėgą

$$V_{Rd,max} = \frac{v_{Rd,max} \cdot u_0 \cdot d}{\beta} = 1140,5 \text{ kN}$$

3 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal STR

Duomenys apie skaičiuojamą elementą

Geometrija

Kolonos plotis / aukštis $b_{k01} = 400 \text{ mm}$

Perdangos plokštės aukštis $h = 200 \text{ mm}$

Plokštės armavimas

Atstumas iki arm. $a_s = 50 \text{ mm}$

Darbinis aukštis $d = h - a_s = 0,15 \text{ m}$

Armavimo koef. $\rho_1 = 0,01$

Betono charakteristikos

Betono koeficientas $\alpha_{cc} = 0,9 \quad \gamma_c = 1,5$

Betono stipris char. $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Betono stipris skaič. $f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = 18 \text{ MPa}$

Iražos

Skersinė jėga ties kolonos kraštu $V_{Ed,f} = 500 \text{ kN}$

Skersinė jėga $V_{Ed} = V_{Ed,f} = 500 \text{ kN}$ (konservatyvumo dėlei priimama lygi $V_{Ed,f}$)

Lenkimo momentas $M_{Ed} = 0 \text{ kN m}$

Praspaudimo perimetrai

$u_0 = 4 \cdot b_{k01} = 1600 \text{ mm}$

$u_1 = 4 \cdot b_{k01} + n \cdot 3 \cdot d = 3014 \text{ mm}$

β koeficiento skaičiavimas

Kolonos kraštinė $c_1 = b_{k01} = 0,4 \text{ m}$

Kolonos kraštinė $c_2 = c_1 = 0,4 \text{ m}$

Koeficientas, priklausantis nuo c_1 / c_2 santykio $k = 0,6$

Koeficientas $W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 3 \cdot c_2 \cdot d + 9 \cdot d^2 + 1,5 \cdot n \cdot d \cdot c_1 = 0,91 \text{ m}^2$

Koeficientas $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} = 1$

Itempiai

Itempiai ties skaičiuojamuoju perimetru $v_{Ed1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 1,1061 \text{ MPa}$

Itempiai ties kolonos perimetru $v_{Ed0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,f}}{u_0 \cdot d} = 2,0833 \text{ MPa}$

Skaičiavimai

Praspaudžiamoji galia be skersinės armatūros

Koeficientas $k = \min \left(\left[1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} \right] 2 \right) = 2$

Koeficientas $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$

Minimalus stiprumas be skersinės arm. $v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck} \text{ MPa})^{\frac{1}{2}} = 0,541 \text{ MPa}$

Stiprumas be skersinės arm. $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \text{ MPa}^2 \right)^{\frac{1}{3}} = 0,7457 \text{ MPa}$

Patikrinimas

if $\max \left(\left[V_{min} \quad V_{Rd,c} \right] \right) \geq V_{Ed1}$ = "REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

"OK"

else

"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

Konventavimas į skersinę jėgą

$$V_{Rd,c,min} = \frac{v_{min} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 245,1 \text{ kN}$$

Konventavimas į skersinę jėgą

$$V_{Rd,c} = \frac{v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 337,1 \text{ kN}$$

Praspaudžiamoji galia su skersine armatūra

Skersinės armatūros diametras

$$d_{sw} = 10 \text{ mm}$$

Kiekis (t.y. kiek bus skersinės arm. radialinių atšakų)

$$n_{sw} = 8$$

Atstumas tarp atšakoje esančių skersinių strypų

$$s_r = 150 \text{ mm}$$

Skersinės armatūros plotas

$$A_{sw} = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} = 628,3185 \text{ mm}^2$$

Skersinės armatūros stipris

$$f_{ywd,ef} = 250 \text{ MPa} + 0,25 \cdot d \frac{\text{MPa}}{\text{mm}} = 287,5 \text{ MPa}$$

Stiprumas su skersine arm.

$$V_{Rd,cs} = 0,75 \cdot \left(\max \left(\left[V_{Rd,c} \quad v_{min} \right] \right) \right) + 1,5 \cdot \left(\frac{d}{s_r} \right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \left(\frac{1}{u_1 \cdot d} \right) = 1,1587 \text{ MPa}$$

Maksimalus stiprumas su skersine arm.

$$V_{Rd,cs,max} = 1,5 \cdot V_{Rd,c} = 1,12 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

if $\min \left(\left[V_{Rd,cs,max} \quad V_{Rd,cs} \right] \right) \geq V_{Ed1}$ = "OK"

"OK"

else

"REIKIA DIDINTI ARM. KIEKĮ"

Konventavimas į skersinę jėgą

$$V_{Rd,cs} = \frac{v_{Rd,cs} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} = 523,8 \text{ kN}$$

Maksimali praspaudžiamoji galia nepriklausomai nuo skersinės armatūros

Betono stiprumo mažinimo coef.

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0,528$$

Maksimalus plokštės stiprumas

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4,752 \text{ MPa}$$

Patikrinimas

if $v_{Rd,max} \geq V_{Ed0}$ = "OK"

"OK"

else

"NELAIKO"

Konventavimas į skersinę jėgą

$$V_{Rd,max} = \frac{v_{Rd,max} \cdot u_0 \cdot d}{\beta} = 1140,5 \text{ kN}$$

4 priedas. Plokštės prapaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal S.M.

Duomenys apie skaičiuojamą elementą

Geometrija

Kolono plotis/aukštis $b_{k01} = 400 \text{ mm}$

Perdangos plokštės storis $h = 200 \text{ mm}$

Plokštės armavimas

Atstumas iki arm. $a_s = 50 \text{ mm}$

Darbinis aukštis $d = h - a_s = 0,15 \text{ m}$

Armavimo koef. $\rho_1 = 0,01$

Betono ir armatūros charakteristikos

Betono ir arm. koeficientai $\alpha_{cc} = 0,9$ $\gamma_c = 1,5$ $\gamma_s = 1,15$

Char. betono gniuždomasis stiprumas $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Char. armatūros tempiamasis stiprumas $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Skaič. betono gniuždomasis stiprumas $f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = 18 \text{ MPa}$

Skaič. armatūros tempiamasis stiprumas $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$

Iražos

Skersinė jėga ties kolonos kraštu $V_{Ed, f} = 500 \text{ kN}$

Skersinė jėga $V_{Ed} = V_{Ed, f} = 500 \text{ kN}$ (konservatyvumo dėlei priimama lygi $VE_{d,f}$)

Maksimali skersinė jėga $V_{max} = 500 \text{ kN}$

Minimali skersinė jėga $V_{min} = 500 \text{ kN}$

Skersinių jėgų santykis $k_V = \frac{V_{max}}{V_{min}} = 1$

Koeficientas $\beta = \frac{\frac{V_{Ed}}{1 + k_V} \cdot k_V \cdot 2}{V_{Ed}} = 1$

Skaičiavimai

Efektyvus perdangos plokštės pločio ir įstrižojo plyšio kampo skaičiavimas

Įstrižojo plyšio ilgio projekcija į horizontalų perdangos plokštės paviršių, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 22 laipsnių kampu

$$x_{22} = \frac{d}{\tan(22 \text{ deg})} = 371,26 \text{ mm}$$

Efektyvusis perdangos plokštės plotis, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 22 laipsnių kampu

$$b_{22} = 4 \cdot (b_{k01} + x_{22}) = 3085,05 \text{ mm}$$

Įstrižojo plyšio ilgio projekcija į horizontalų perdangos plokštės paviršių, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 45 laipsnių kampu

$$x_{45} = \frac{d}{\tan(45 \text{ deg})} = 150 \text{ mm}$$

Efektyvusis perdangos plokštės plotis, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 45 laipsnių kampu

$$b_{45} = 4 \cdot (b_{k01} + x_{45}) = 2200 \text{ mm}$$

Jėgų petys

$$z = 0,9 \cdot d = 135 \text{ mm}$$

Betono stiprumo mažinimo koef.

$$v = 0,45 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right) = 0,396 \quad (\text{priimamas formulės daugiklis } 0.45)$$

Tikrasis įstrižojo plyšio kampas, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 22 laipsnių kampu

$$\theta_{ca1c22} = 0,5 \cdot \operatorname{asin} \left(\frac{V_{Ed,f}}{0,5 \cdot z \cdot b_{22} \cdot v \cdot f_{cd}} \operatorname{rad} \right) = 9,8425 \operatorname{deg}$$

Tikrasis įstrižojo plyšio kampas, priimant, kad įstrižasis plyšys formuojasi 45 laipsnių kampu

$$\theta_{ca1c45} = 0,5 \cdot \operatorname{asin} \left(\frac{V_{Ed,f}}{0,5 \cdot z \cdot b_{45} \cdot v \cdot f_{cd}} \operatorname{rad} \right) = 14,0939 \operatorname{deg}$$

Skačiuojamasis įstrižojo plyšio kampas

$$\theta = \min \left(\left[\max \left(\left[\theta_{ca1c22} \quad \theta_{ca1c45} \quad 22 \operatorname{deg} \right] \right) \right] \quad 45 \operatorname{deg} \right) = 22 \operatorname{deg}$$

Įstrižojo plyšio ilgio projekcija į horizontalų perdangos plokštės paviršių, priimant skaičiuojamąjį įstrižojo plyšio kampą

$$x = \frac{d}{\tan(\theta)} = 371,26 \operatorname{mm}$$

Efektyvusis perdangos plokštės plotis, priimant, skaičiuojamąjį įstrižojo plyšio kampą

$$b_{eff} = 4 \cdot (b_{kol} + x) = 3085,05 \operatorname{mm}$$

Gniuždomo spyrio stiprumas

Koeficientas, kurį taikant atsižvelgiama į gniuždomos juostos įtempių būvį $\alpha_{cw} = 1,0$

Gniuždomo spyrio laikomoji galia

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{eff} \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} \cdot \frac{1}{\beta} = 1031,1 \operatorname{kN}$$

Patikrinimas

if $V_{Rd,max} \geq V_{Ed,f} = \text{"OK"}$

"OK"

else

"NELAIKO"

Praspaudžiamoji galia be skersinės armatūros

Koeficientas

$$k = \min \left(\left[1 + \sqrt{\frac{200 \operatorname{mm}}{d}} \quad 2 \right] \right) = 2$$

Koeficientas

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

Minimalus stiprumas be skersinės arm.

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck} \operatorname{MPa})^{\frac{1}{2}} = 0,54 \operatorname{MPa}$$

Minimalus stiprumas be skersinės arm.

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{1}{\beta} = 250,92 \operatorname{kN}$$

Skačiuojamasis stiprumas be skersinės arm.

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \operatorname{MPa}^2 \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \frac{1}{\beta} = 345,1 \operatorname{kN}$$

Patikrinimas

if $\max \left(\left[V_{Rd,c,min} \quad V_{Rd,c} \right] \right) \geq V_{Ed} = \text{"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"}$

"OK"

else

"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

Praspaudžiamoji galia su skersine armatūra

Skersinės arm. diametras

$$d_{sw} = 10 \operatorname{mm}$$

Skersinės armatūros kiekis

$$n_{sw} = 8$$

Atstumas tarp skersinės arm.

$$s_r = 150 \operatorname{mm}$$

Skersinės arm. plotas

$$A_{sw} = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} = 628,3185 \operatorname{mm}^2$$

Elemento laikomoji galia su skersine arm.

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_r} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta) \cdot \frac{1}{\beta} = 608,5 \operatorname{kN}$$

Patikrinimas

if $V_{Rd,s} > V_{Ed}$

"OK"

else

"REIKIA DAUGIAU SKERSINĖS ARM."

5 priedas. Plokštės praspaudimo laikomosios galios skaičiavimai pagal SNiP

Duomenys apie skaičiuojamą elementą

Geometrija

Kolonos plotis / aukštis $b_{kol} = 400 \text{ mm}$

Perdangos plokštės aukštis $h = 200 \text{ mm}$

Plokštės armavimas

Atstumas iki arm. $a_s = 50 \text{ mm}$

Darbinis aukštis $h_0 = h - a_s = 150 \text{ mm}$

Betono ir armatūros charakteristikos

Armatūros stiprumo atsargos koef. $\gamma_s = 1,15$

Char. betono tempiamasis stipris $f_{ck} = 2,06 \text{ MPa}$ (betonas C30/37)

Skaič. betono tempiamasis stipris $R_{bt} = 1,35 \text{ MPa}$

Char. armatūros tempiamasis stipris $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ (armatūra B500)

Skaič. armatūros tempiamasis stipris $R_{sw} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$

Iražos

Skersinė jėga $F_{Ed} = 500 \text{ kN}$

Praspaudimo perimetrai

$u_{m,apatinis} = 4 \cdot b_{kol} = 1600 \text{ mm}$

$u_{m,viršutinis} = 4 \cdot (b_{kol} + 2 \cdot h_0) = 2800 \text{ mm}$

$u_m = \frac{u_{m,apatinis} + u_{m,viršutinis}}{2} = 2200 \text{ mm}$

Skaičiavimai

Praspaudžiamoji galia be skersinės armatūros

Koeficientas $\alpha = 1,0$ (sunkiajam betonui - 1,0)

Laikomoji galia $F_b = \alpha \cdot R_{bt} \cdot u_m \cdot h_0 = 445,5 \text{ kN}$

Patikrinimas

if $F_b \geq F_{Ed}$ = "REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

"OK"

else

"REIKIA SKERSINĖS ARMATŪROS"

Praspaudžiamoji galia su skersine armatūra

Skersinės armatūros diametras $d_{sw} = 10 \text{ mm}$

Kiekis (t.y. kiek bus skersinės arm. radialinių atšakų) $n_{sw} = 8$

Atstumas tarp atšakoje esančių skersinių strypų $s = 150 \text{ mm}$

Skersinės armatūros kiekis $n_s = \frac{h_0 - 50 \text{ mm}}{s} + 1 = 1,67$

(priimame, kad pirmą skersinės arm. apkaba bus 50 mm nuo kolonos krašto)

Skersinės armatūros plotas $A_{sw} = n_s \cdot n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} = 1047,1976 \text{ mm}^2$

Laikomosios galios dedamoji $F_{sw} = R_{sw} \cdot A_{sw} = 455,3 \text{ kN}$

Tikrinama F_{sw} minimumo sąlyga

if $F_{sw} > 0,5 \cdot F_b$ = "OK"

"OK"

else

"REIKIA DIDINTI ARMATŪROS KIEKĮ"

$$F_s = F_b + 0,8 \cdot F_{sw} = 809,7 \text{ kN}$$

Patikrinimas

if $F_s \geq F_{Ed}$ = "OK"

"OK"

else

"REIKIA DAUGIAU SKERSINĖS ARMATŪROS"

Maksimali praspaudžiamoji galia nepriklausomai nuo skersinės armatūros

$$F_{max} = 2 \cdot F_b = 891 \text{ kN}$$

Patikrinimas

if $F_{max} \geq F_{Ed}$ = "OK"

"OK"

else

"REIKIA DIDINTI PLOKŠTĖS SKERSPJŪVĮ"