



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Martynas Macius

**PUSIAU STANDŽIŲ MAZGŲ IŠ TUŠČIAVIDURIŲ PROFILIUOČIŲ SU
VARŽTŲ IŠDĖSTYMU PROFILIUOČIO KONTŪRE TYRIMAS
ANALITINIAIS IR BEM METODAIS**

**INVESTIGATION OF THE SEMI-RIGID JOINT BETWEEN ELEMENTS
FROM HOLLOW SECTION PROFILES WITH BOLTS LOCATION IN THE
INNER ZONE OF PROFILE BY ANALYTICAL AND FEM**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Lengvųjų šiuolaikinių konstrukcijų specializacija

Statybos inžinerijos 02T mokslo kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Antanas Šapalas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Martynas Macius

**PUSIAU STANDŽIŲ MAZGŲ IŠ TUŠČIAVIDURIŲ PROFILIUOČIŲ SU
VARŽTŲ IŠDĖSTYMU PROFILIUOČIO KONTŪRE TYRIMAS
ANALITINIAIS IR BEM METODAIS**

**INVESTIGATION OF THE SEMI-RIGID JOINT BETWEEN ELEMENTS
FROM HOLLOW SECTION PROFILES WITH BOLTS LOCATION IN THE
INNER ZONE OF PROFILE BY ANALYTICAL AND FEM**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Lengvųjų šiuolaikinių konstrukcijų specializacija

Statybos inžinerijos 02T studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2017

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Statybos fakultetas Metalinių ir medinių konstrukcijų katedra	ISBN Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Statinių konstrukcijų programos magistro baigiamasis darbas	
Pavadinimas	Pusiau standžių mazgų iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotąjį kontūrą tyrimas analitiniais ir BEM metodais
Autorius	Martynas Macius
Vadovas	Konstantin Rasiulis
Kalba: lietuvių	
Anotacija Projektuotojai dažniausiai projektuoja idealizuotus lanksčius arba standžius mazgus. Tačiau dažniausiai mazgai yra pusiau standūs. Tokie mazgai turi didelės įtakos pastato stabilumui ir stiprumui, todėl juos yra svarbu tyrinėti. Literatūros apžvalgoje aprašoma plieninių mazgų medžiagų fizikinės savybės, mazgo samprata, mazgų elgsena ir modeliavimas, mazgų klasifikacija pagal LST EN 1993-1-8:2005, pusiau standžių mazgų elgsenos ir modeliavimo principai, rėmų analizės principas su pusiau standžiais mazgais. Analitinio tyrimo dalyje skaičiuojamas pusiau standus kolonos-sijos mazgas iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymo profiliuotąjį kontūrą komponentų metodu. Nustatomos mazgo stiprumo ir standumo charakteristikos. Skaitinio tyrimo dalyje modeliuojamas pusiau standus kolonos-sijos mazgas iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymo profiliuotąjį kontūrą kompiuteriniu paketu „SolidWorks“. Aprašomi gauti rezultatai, kurie vėliau lyginami su analitiniu. Darbo gale pateikiamos išvados ir rekomendacijos. Darbo apimtis 70 puslapių teksto be priedų, 64 paveikslai, 6 lentelės, 16 bibliografiniai šaltiniai.	
Prasminiai žodžiai: sijos-kolonos mazgas, pusiau standūs mazgai, pasiduodantys mazgai, dalinio standumo mazgai, sijos-kolonos mazgo stipris, sijos-kolonos mazgo standis, tuščiavidurių profiliuotųjų mazgai, paslėptos varžtinės jungtys.	

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Steel and Timber Structures

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Structural Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Investigation of the semi-rigid joint between elements from hollow section profiles with bolts location in the inner zone of profile by analytical and FEM**

Author **Martynas Macius**

Academic supervisor **Konstantin Rasiulis**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Designers usually develops idealized pinned or fixed connections. However, most units are semi-rigid. These joints have a significant impact on the stability and strength of the building, so it is important to explore this type of joints.

The literature review describes the properties of steel joints physical materials, joint concept, joints behavior and modeling, joints classification according to EN 1993-1-8: 2005, semi-rigid joints behavioral and modeling principles, frame analysis principles with the semi-rigid joints.

In analytical investigation, semi-rigid joint between elements from hollow section profiles with bolts location in the inner zone of profile calculated by components method. Determined strength and stiffness characteristics of joint.

In FEM simulation of the study, semi-rigid joint between elements from hollow section profiles with bolts location in the inner zone of profile simulated with software "SolidWorks". Describe the results, which are then compared with the analytical investigation.

In the end of paper there are conclusions and recommendations.

Thesis consist of: 70 pages' text without appendixes, 64 pictures, 6 tables, 16 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: Column-beam joint, semi-rigid joints, strength of column-beam joint, stiffness of column-beam joint, joints of hollow section profiles, blind bolted moment connections.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Statybos inžinerija.

studijų kryptis

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Statinių konstrukcijų. studijų programa,

valstybinis kodas 621H21001

(Parašas)

Lengvosios šiuolaikinės konstrukcijos

specializacija

Antanas Šapalas

(Vardas, pavardė)

2017 06

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

...2017.05.25...Nr. .2.

Vilnius

Studentui (ei) Martynui Maciui.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: "Pusiau standžių mazgų iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymų profiliuotųjų kontūre tyrimas analitiniais ir BEM metodais".

patvirtinta 2017 m. kovo 15 d. dekanų potvarkiu Nr. 121 st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2017 m. birželio 01d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Reikia atlikti konstrukcinių elementų mazgų literatūros apžvalgą ir kitų mokslininkų atliktų tyrimų apžvalgą moksliniuose straipsniuose. Susipažinti ir atlikti pusiau standžių mazgų skaičiavimus taikant komponentų metodą ir skaitinius metodus. Susipažinti su pusiau standžių mazgų modeliavimo principais baigtinių elementų metodu. Atlikti mazgo pirmos ir antros eilės skaičiavimus baigtinių elementų metodu. Sukomponuoti pusiau standu mazgą iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu jų kontūre ir atlikti anksčiau minėtus skaičiavimus. Atlikti skirtingų metodų skaičiavimo rezultatų analizę, pateikti baigiamąsias išvadas apie skirtingų metodų taikymo galimybes.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

...



(Paraša)

...

doc. lekt. Konstantin Rasiulis
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
.....
(Vardas, pavardė)
.....
(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Martynas Macius, 20093451

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statinių konstrukcijos, LŠKfm-15

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio 01 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pusiau standžių mazgų iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotųjų kontūre tyrimas analitiniais ir BEM metodais“ patvirtintas 2017 m. kovo 15 d. dekanų potvarkiu Nr. 121st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Konstantin Rasiulis. Mano darbo vadovas dr. Konstantin Rasiulis.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Martynas Macius
(Vardas ir pavardė)

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	3
LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
ĮVADAS.....	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	8
1.1. Plieninių sijų, kolonų ir mazgų medžiagų fizikinės savybės	8
1.2. Mazgo samprata. Mazgų elgsena ir modeliavimas	9
1.3. Plieninių rėminių konstrukcijų mazgų klasifikavimas.....	12
1.3.1. Mazgų klasifikavimas pagal standumą ir stiprumą	14
1.3.2. Mazgų klasifikavimas pagal LST EN 1993-1-8:2005	16
1.4. Pusiau standžių mazgų elgsena ir modeliavimas	18
1.4.1. Pusiau standžių mazgų modeliavimas.....	18
1.4.2. Pusiau standžių mazgų elgsenos idealizavimas pagal LST EN 1993-1-8:2005 ...	21
1.4.3. Pusiau standžių mazgų charakteristikos. Komponentų metodas	23
1.4.4. Rėmų su pusiau standžiais mazgais analizė.....	25
1.5. Skyriaus išvados	26
2. PRADINIAI DUOMENYS ANALITINIAM IR SKAITINIAM METODAMS	28
3. TYRIMAS ANALITINIAIS METODAIS	34
3.1. Vidinės jėgos.....	35
3.2. Lenkimo momentai	35
3.3. Šlyties veikiamą kolonos sienelės plokštelę	35
3.4. Gniuždymo veikiamą kolonos sienelės plokštelę	36
3.5. Tempimo veikiamą kolonos sienelės plokštelę	39
3.6. Lenkimo veikiamą kolonos juosta	42
3.7. Lenkimo veikiamą galinę plokštelę	44
3.8. Gniuždymo veikiamą sijos juosta ir sienelę	46
3.9. Tempimo veikiamą sijos sienelę.....	48
3.10. Tempimo veikiami varžtai	49
3.11. Mazgo stiprumas.....	50
3.12. Mazgo sukamasis standis.....	51
3.13. Skyriaus išvados	52
4. TYRIMAS SKAITINIAIS METODAIS	53
4.1. Kompiuterinio modeliavimo metodika.....	53

4.2. Kompiuterinio modeliavimo skaičiavimų rezultatai.....	56
4.3. Skyriaus išvados	64
5. REZULTATŲ PALYGINIMAS	65
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	68
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	69
PRIEDAS. Komponentų metodo skaičiavimai Mathcad programa.....	70

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Mažaanglio plieno tempimo diagrama	8
1.2 pav. Sijos su kolona mazgo dalys (Faella et al. 1999).....	9
1.3 pav. Mazgų modeliavimas (M – lenkimo momentas, φ – pasisukimas) (Pusiau standžių... [2017])	10
1.4 pav. Lenkimo momentų pasiskirstymas tampriame rėme su skirtingo tipo mazgais	11
1.5 pav. Elemento skerspjūvio ir mazgo M - φ ryšys (Pagal pusiau standžių... [2017]).....	12
1.6 pav. Sijos-kolonos mazgų klasifikavimas (Faella et al. 1999)	13
1.7 pav. Sijų-kolonų mazgų klasifikacija ir mazgų M - φ ryšys. (Pagal Urbonas 2006)	13
1.8 pav. Mazgų klasifikavimas pagal standumą (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	14
1.9 pav. Mazgų klasifikavimas pagal stiprumą (Pusiau standžių... [2017]).....	15
1.10 pav. Mazgų klasifikavimas pagal standį (LST EN 1993-1-8:2005).....	16
1.11 pav. Mazgo modeliavimas (Pusiau standžių... [2017])	18
1.12 pav. Tiesiniai pusiau standaus mazgo M - φ ryšio modeliai (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	19
1.13 pav. Trijų parametrų netiesinis pusiau standaus mazgo M - φ ryšio modelis (Chen et al. 1996).....	19
1.14 pav. Rėmo mazgo nusikrovimo pavyzdys.....	20
1.15 pav. M – φ ryšio idealizavimas (Pusiau standžių... [2017])	21
1.16 pav. M – φ kreivės aproksimavimas, kai atliekama konstrukcijos tampri analizė (Pusiau standžių... [2017]).....	22
1.17 pav. M – φ kreivės aproksimavimas, kai atliekama konstrukcijos standi plastinė analizė (Pagal Faella et al. 1999)	22
1.18 pav. Sijos-kolonos virinto mazgo komponentai (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	24
1.19 pav. Virinto sujungimo komponentų sumavimo algoritmas (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	24
1.20 pav. Spyruoklės elementas (Pusiau standžių... [2017])	25
1.21 pav. Hibridinis strypinis elementas (skaičiais parodyti poslinkių numeriai) (Pusiau standžių... [2017]).....	26
2.1 pav. Skaičiuojamoji nagrinėjamo rėmo schema	28
2.2 pav. HSQ skerspjūvio geometrinės charakteristikos	29
2.3 pav. Jungiamojo elemento skerspjūvio geometrinės charakteristikos.....	30
2.4 pav. Rėmo elementų išnaudojimas	30
2.5 pav. Mazge A veikiančių ašinių jėgų diagrama.....	30
2.6 pav. Mazge A veikiančių skersinių jėgų diagrama.....	31

2.7 pav. Mazge A veikiančių lenkimo momentų diagrama	31
2.8 pav. Nagrinėjama varžtinė jungtis	32
3.1 pav. Sijos-kolono mazgo komponentai	34
3.2 pav. Grafikas pagal kurį nustatoma α reikšmės standintų kolonų juostoms.....	41
3.3 pav. Pailgintos galinės plokštelės modeliavimas atskirais tėjiniais galiniais elementais (pagal LST EN 1993-1-8:2005).....	45
3.4 pav. Peties nustatymo schema	51
4.1 pav. Solidworks skaičiuojamasis modelis	53
4.2 pav. Mazgo vaizdas	54
4.3 pav. Modelio tūrinis baigtinių elementų tinklas	55
4.4 pav. Idealiai tamprios plastinės medžiagos įtempių deformacijų diagrama.....	55
4.5 pav. Įtempių laukų pasiskirstymas elementų paviršiuje	56
4.6 pav. Įtempių laukų pasiskirstymas išilginiame pjūvyje.....	57
4.7 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 150MPa.....	58
4.8 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 200MPa.....	59
4.9 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa.....	59
4.10 pav. Zonos apatinėje sijos juostoje, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa	60
4.11 pav. Zonos, viršutinėje sijos juostoje, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa.....	60
4.12 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 300MPa.....	61
4.13 pav. Plastinės zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 355MPa	62
4.14 pav. Suminis vektorinis poslinkis $U_x U_y U_z$ kryptimi (tiesinė analizė)	62
4.15 pav. Suminis vektorinis poslinkis $U_x U_y U_z$ kryptimi (netiesinė analizė)	63
4.16 pav. Vektorinis poslinkis U_y kryptimi (tiesinė analizė).....	63
4.17 pav. Vektorinis poslinkis U_y kryptimi (netiesinė analizė)	63
4.18 pav. 50 kartų padidintos deformacijos ties mazgu	64
5.1 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su standžiais mazgais.....	65
5.2 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų.....	65
5.3 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai, atitinkantys skaitinį modelį, SolidWorks programa.....	66
5.4 pav. Rėmo momentų diagrama su standžiais kolonos-sijos mazgais	66
5.5 pav. Rėmo momentų diagrama su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų	66
5.6 pav. Rėmo momentų diagrama, atitinkanti skaitinį modelį, SolidWorks programa	67

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Mazgų klasifikavimas pagal standumą (LST EN 1993-1-8:2005)	15
1.2 lentelė. Mazgų klasifikavimas pagal stiprumą (LST EN 1993-1-8:2005)	15
1.3 lentelė. Mazgų, išskyrus kolonų pėdas, ribų klasifikacija (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	16
1.4 lentelė. Ryšys tarp rėmo analizės tipo ir mazgų tipų modelis (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)	17
2.1 lentelė. veikiančių apkrovų suvestinė	29
3.1 lentelė. Pataisos koeficientas ω , norint nustatyti šlyties poveikį (LST EN 1993-1-8:2005)	39
5.1 lentelė. Skaitinių ir analitinių tyrimų rezultatų suvestinė	67

IVADAS

Temos aktualumas ir problema. Pagrindiniai karkasinių pastatų komponentai yra sijos, kolonos ir šiuos elementus jungiantys mazgai. Projektavimo praktikoje iš visų konstrukcinių elementų mažiausiai atsižvelgiama į tikrąją mazgų elgseną. Tai statinio dalis, kurios elgsena labiausiai supaprastinama ir suprimityvinama. Plieninių rėminių konstrukcijų statiniai skaičiavimai dar ir dabar atliekami laikantis prielaidos, kad sija prie kolonos prijungta arba idealiai lanksčiai, arba idealiai standžiai, nors jau seniai žinoma, kad dauguma mazgų nėra nei idealiai lankstūs, nei idealiai standūs. Toks mazgų idealizavimas gerokai supaprastina plieninių rėminių konstrukcijų skaičiavimą ir projektavimą, bet apriboja galimybę nustatyti tikrąją visos konstrukcijos elgseną. Apie pasiduodančių mazgų naudojimo ekonominę ir konstrukcinę naudą yra žinoma plačiai. Taigi, tikroji konstrukcijos elgsena leistų projektuoti efektyvesnes bei saugesnes konstrukcijas ir siekti ekonominės naudos. Neteisingai idealizuojant mazgo elgseną galima ne tik suprojektuoti neekonomišką konstrukciją ar sumažinti jos saugumą, bet ir paskatinti konstrukcijos ribinių būvių atsiradimą.

Pastaruoju metu atlikta nemažai tyrimų (Ismail *et al.* 2016; Wang, Spencer 2013) su įvairiais plieninių rėminių konstrukcijų mazgais, kai mazgą veikia lenkiamasis momentas, tai yra. didžiausią įtaką mazgo elgsenai turinti įraža. Taip pat tirti tik tam tikrų praktikoje dažniausiai pasitaikančių tipų mazgai. Nepaisant šioje srityje pasiektos pažangos, projektuoti naudojant pasiduodančius mazgus vis dar yra gana sudėtinga, kadangi lieka neaišku, kaip esamas metodikas pritaikyti šiuo aspektu dar nenagrinėto tipo mazgams skaičiuoti ir kaip įvertinti bendrą lenkiamojo momento, skersinės ir ašinės jėgų poveikį mazgo elgsenai.

Baigiamojo magistro darbo **objektas** – bendras lenkiamojo momento, skersinės ir ašinės jėgų poveikis pusiau standiems mazgams iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotą kontūrą.

Darbo **tikslas** – pritaikyti komponentų metodą pusiau standiems mazgams iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotą kontūrą skaičiuoti, įvertinant bendrą lenkiamojo momento, skersinės ir ašinės jėgų poveikį.

Tikslui pasiekti iškeliama tokie darbo **uždaviniai**:

- atlikti mokslinės literatūros, susijusios su darbo tema, analizę / apžvalgą;
- pritaikyti komponentų metodą pusiau standiems mazgams iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotą kontūrą skaičiuoti;
- pagal komponentų metodą atlikti plieninių konstrukcijų su pusiau standžiais mazgais iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotą kontūrą skaičiavimus, įvertinant bendrą lenkiamojo momento, skersinės ir ašinės jėgų poveikį;

- pagal komponentų metodą gautus rezultatus palyginti su gautaisiais baigtinių elementų metodu.
- atlikti plieninių rėminių konstrukcijų skaičiavimus, įvertinant bendrą lenkiamojo momento skersinės ir ašinės jėgų poveikį mazgų charakteristikoms;

Tyrimo metodai. Darbe taikomi literatūros analizės, taip pat analitiniai ir skaitiniai tyrimų metodai, leidžiantys įvertinti bendrą lenkiamojo momento skersinės ir ašinės jėgų poveikį pusiau standiems tuščiavidurių profiliuotųjų mazgams.

Pažymėtina, kad lenkiamojo momento, skersinės ir ašinės jėgų poveikio pusiau standiems mazgams iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotųjų kontūre klausimai nėra plačiai nagrinėti ne tik Lietuvoje, bet ir kitur pasaulyje, o tokio pobūdžio tiriamasis darbas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Metalinių ir medinių konstrukcijų katedroje atliekamas pirmą kartą. Kadangi nagrinėtoje literatūroje nėra išsamios informacijos apie esamų mazgų skaičiavimo metodikų pritaikymą, pirmiausia skaičiavimai atliekami baigtinių elementų metodu naudojant *SolidWorks* programinę įrangą, o paskui mazgai tikrinami analitiniu komponentų metodu.

Darbo apimtis ir struktūra. Darbo apimtis – 69 puslapiai. Darbe pateiktas 61 paveikslas, 6 lentelės ir priedas. Literatūros sąrašas apima 16 šaltinius. Darbą sudaro įvadas, penki skyriai, išvados ir rekomendacijos, literatūros šaltinių sąrašas bei santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Plieninių sijų, kolonų ir mazgų medžiagų fizikinės savybės

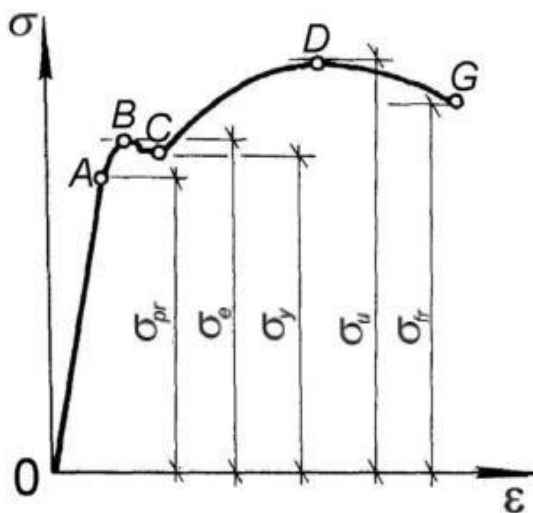
Statybinis plienas. G. Marčiukaitis statybinį plieną apibūdina kaip geležies lydinį, kuriame yra $\leq 1,7\%$ anglies priedų (2004). Pagal V. Gurskį (2008), atsižvelgiant į anglies kiekį, plienas yra klasifikuojamas į:

1. mažaanglį (0,09–0,22 % anglies);
2. vidutinio anglingumo (0,25–0,5 % anglies);
3. daugiaanglį (0,6–1,7 % anglies).

Plienui būdingos savybės (Gurskis 2008):

- tankis – 7850 kg/m³;
- tamprumo modulis – $E \approx 210$ kN/mm²;
- šilumos laidumo koeficientas – $\lambda = 40\text{--}60$ W/(m·K);
- linijinis temperatūrinio plėtimosi koeficientas – $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ K⁻¹;
- lydymosi temperatūra – 1300–1400 °C;
- degumo klasė – A1.

Kadangi plienas puikiai perima ir atlaiko tempimo įtempius, kompozitiniuose elementuose jis komponuojamas ten, kur yra tempimas. Pažymėtina, kad apie plieno kokybę ir jo stiprumą sprendžiama iš mechaninių plieno savybių ir cheminės jo sudėties. Mechaninės plieno savybes apibūdina $\sigma - \epsilon$ diagrama (1.1 pav.).



1.1 pav. Mažaanglio plieno tempimo diagrama

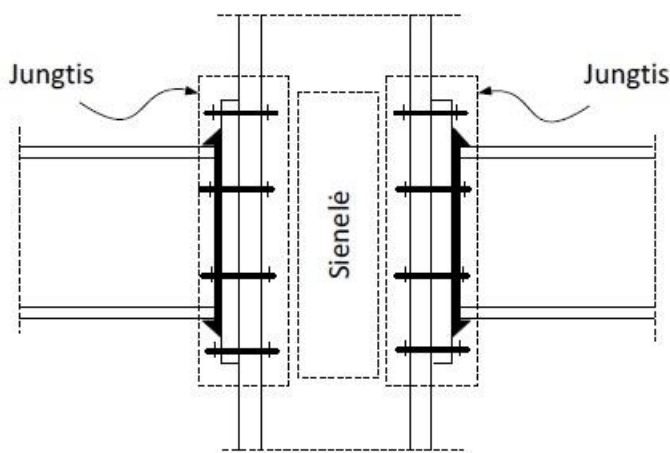
1.1 paveiksle pateiktoje diagramoje yra išskiriama keletas taškų, apibūdinančių pagrindines mechanines plieno savybes (Mikuckis 2008):

- proporcingumo riba (σ_{pr}) yra didžiausia įtempio reikšmė, iki kurios galioja įtempių ir deformacijų proporcingumo (Huko) dėsnis;
- tamprumo riba (σ_e) yra didžiausia įtempio reikšmė, iki kurios medžiagoje praktiškai nepastebima jokių plastinių (liekamųjų) deformacijų;
- takumo riba (σ_y) yra mažiausias įtempis, kuriam veikiant bandinys tįsta nedidėjant apkrovai;
- stiprumo riba (σ_u) yra didžiausias sąlyginis įtempis, kurį atlaiko bandinys;
- trūkimo riba (σ_{fr}) yra toks įtempis, kai bandinys trūksta.

1.2. Mazgo samprata. Mazgų elgsena ir modeliavimas

Dažnai praktikoje įprasta manyti, kad nėra esminio skirtumo tarp sąvokų *mazgas* ir *jungtis*. Tačiau iš tikrųjų šias sąvokas skirti reikia (ypač tai svarbu skaičiuojant konstrukcijas su pusiau standžiais mazgais). Dažniausiai pateikiami tokie jungties ir mazgo apibrėžimai:

- Jungtis – tai fizinis komponentas, kuris mechanškai sujungia siją su kolona ir yra šių elementų jungties vietoje. (Pusiau standžių... [2017])
- Mazgas – tai jungtis (jungtys) ir kolonos sienelė kartu paėmus (1.2 pav.). Tokiu būdu mazgo deformacijos susideda iš kolonos sienelės ir jungties (jungčių) deformacijų. (Pusiau standžių... [2017])

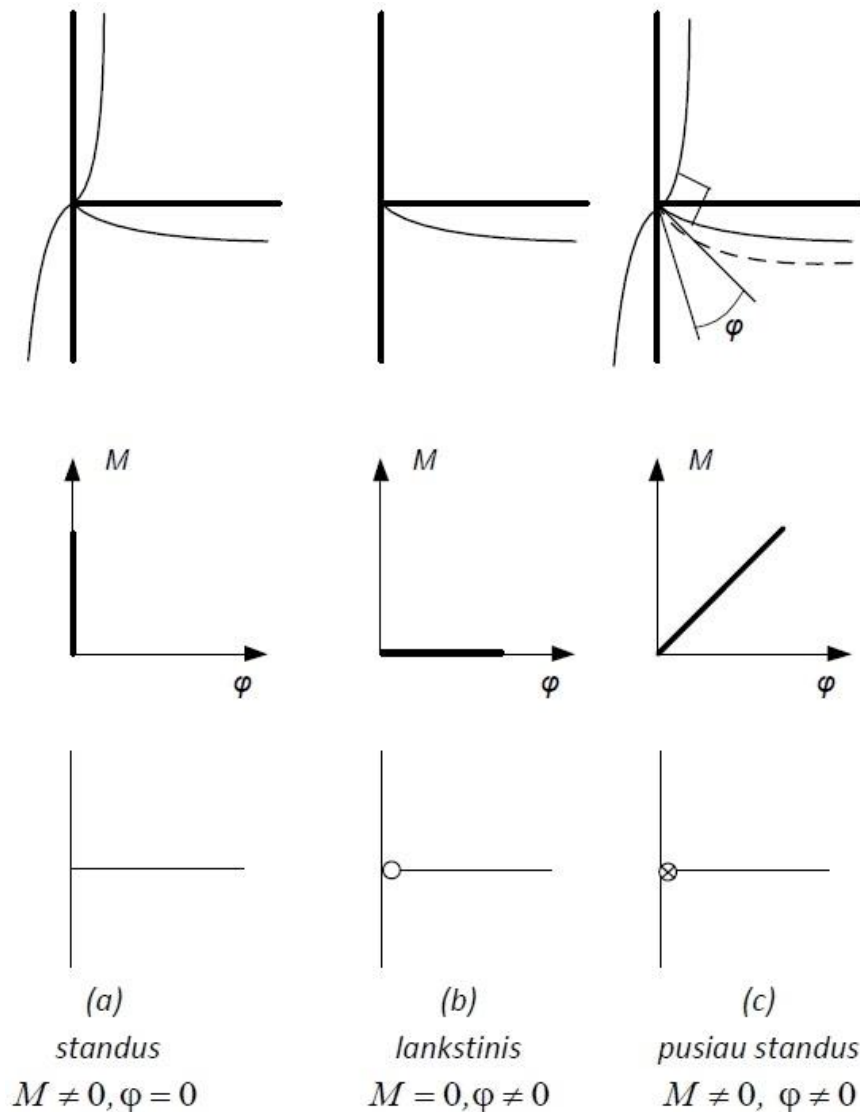


1.2 pav. Sijos su kolona mazgo dalys (Faella *et al.* 1999)

Projektuojant plieninius rėmus dažniausiai priimama, kad mazgai jungiantys sijas su kolonomis yra arba absoliučiai standūs, arba idealiai lankstūs. Toks absoliučiai standžių ir idealiai lanksčių mazgų panaudojimas labai supaprastina rėmų analizę ir projektavimą.

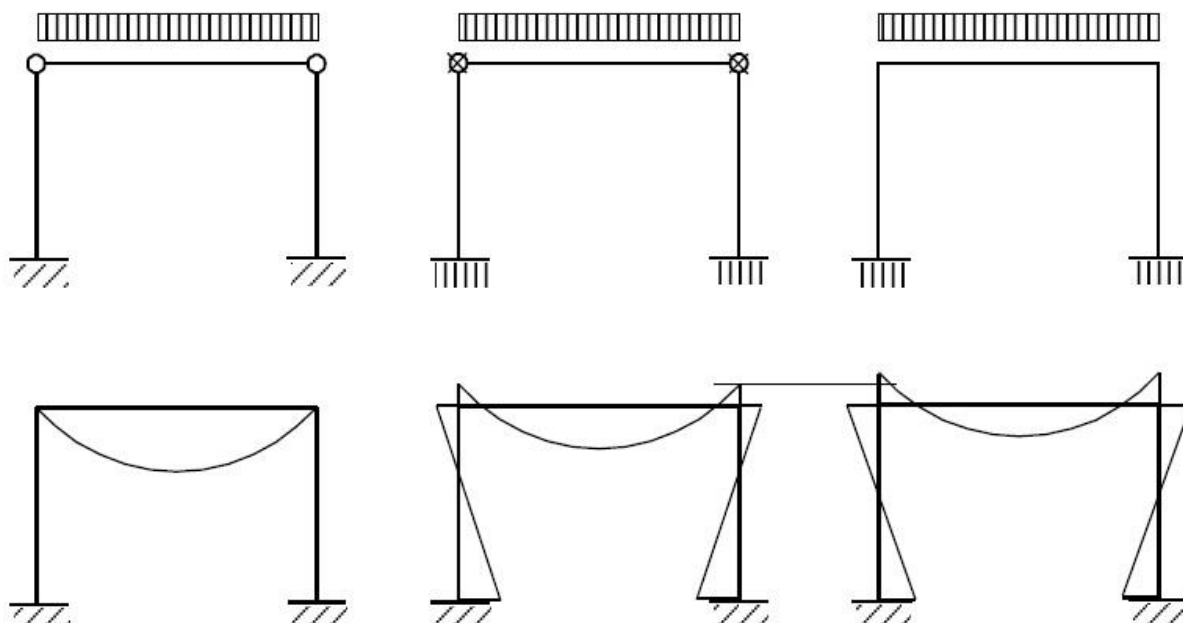
Absoliučiai standžiame mazge, į mazgą sueinančių visų strypų pasisukimai yra vienodi, o sijos gale esantis lenkimo momentas perduodamas į koloną (1.3a pav.). Idealiai

lanksčiame mazge sijos galas yra paremtas lanksčiai ir sija neperduoda lenkimo momento į koloną (1.3b pav.). Pažymėtina, kad šių prielaidų galiojimas yra abejotinas tais atvejais, kai mazgo standumas yra tarp absoliučiai standaus ir idealiai lankstaus mazgų tipų standžių. Iš eksperimentinių tyrimų matyti, kad beveik visi šiuo metu plieninių konstrukcijų projektavimo praktikoje naudojami mazgai nėra absoliučiai standūs ar idealiai lankstūs mazgai. Tokie mazgai dažniausiai vadinami pusiau standžiais mazgais (1.3c pav.).



1.3 pav. Mazgų modeliavimas (M – lenkimo momentas, φ – pasisukimas) (Pusiau standžių... [2017])

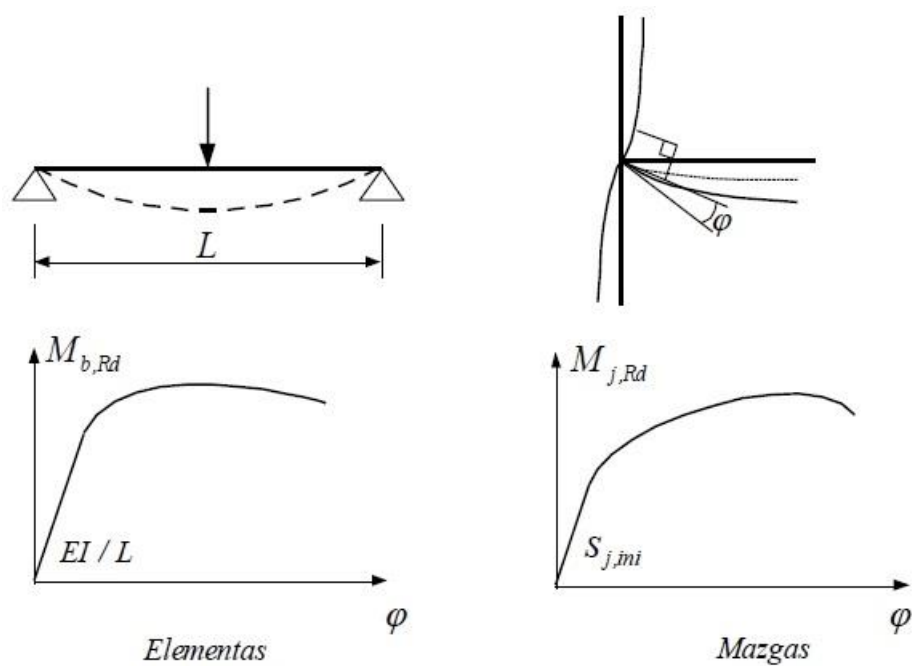
Atkreiptinas dėmesys, kad skaičiuojant statinius, priėmus vienokio ar kitokio standumo mazgus, gaunamas skirtingą įrašų pasiskirstymas (1.4 pav.).



1.4 pav. Lenkimo momentų pasiskirstymas tampriame rėme su skirtingo tipo mazgais

Mazguose iš vieno elemento į kitą perduodama ašinė jėga, skersinė jėga, lenkimo momentas ir sukimas. Pažymėtina, kad nagrinėjant rėmus plokštumoje į sukimą galima nekreipti dėmesio. Taip pat derėtų pabrėžti, kad mazgų elgsenai ašinės ir skersinės deformacijų įtaka yra ženkliai mažesnė lyginant su pasisukimo deformacijos įtaka, todėl praktiniams tikslams pakanka nagrinėti tik mazgo pasisukimo deformacijas.

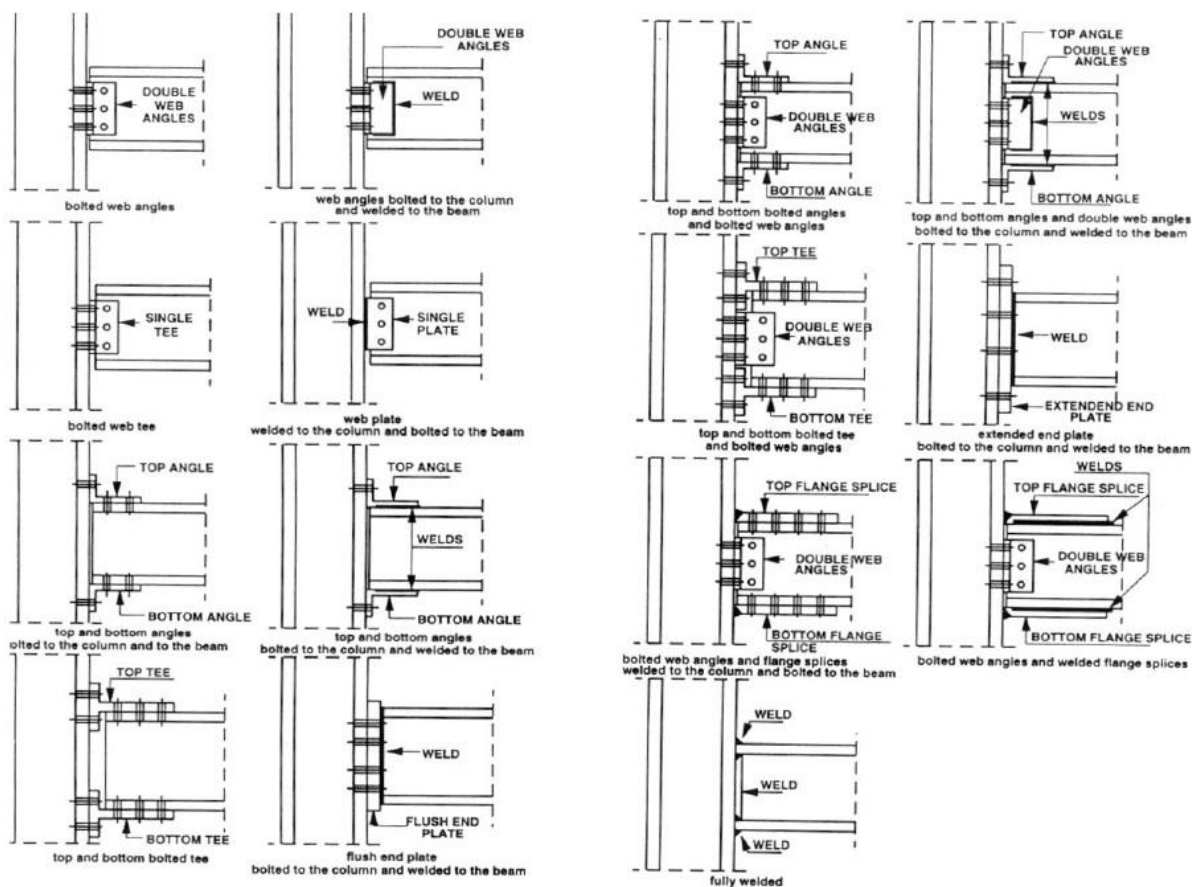
Lenkiamo elemento skerspjūvio elgsena aprašoma kreive $M-\varphi$, čia: M – lenkimo momentas, φ – skerspjūvio pasisukimas. Mazgo elgsena gali būti aprašyta analogišku ryšiu, kur $M = M_j$ ir $\varphi = \varphi_j$, čia: M_j – lenkimo momentas elemento gale, kuris perduodamas į kitą elementą, φ_j – prijungiamo elemento pasisukimas mazgo atžvilgiu. Ryšys $M-\varphi$ elementui ir mazgui parodytas 1.5 paveiksle, čia: EI / L – elemento standumas lenkiant, $M_{b,Rd}$ – elemento laikomoji galia, $S_{j,ini}$ – pradinis mazgo standumas, $M_{j,Rd}$ – mazgo laikomoji galia.



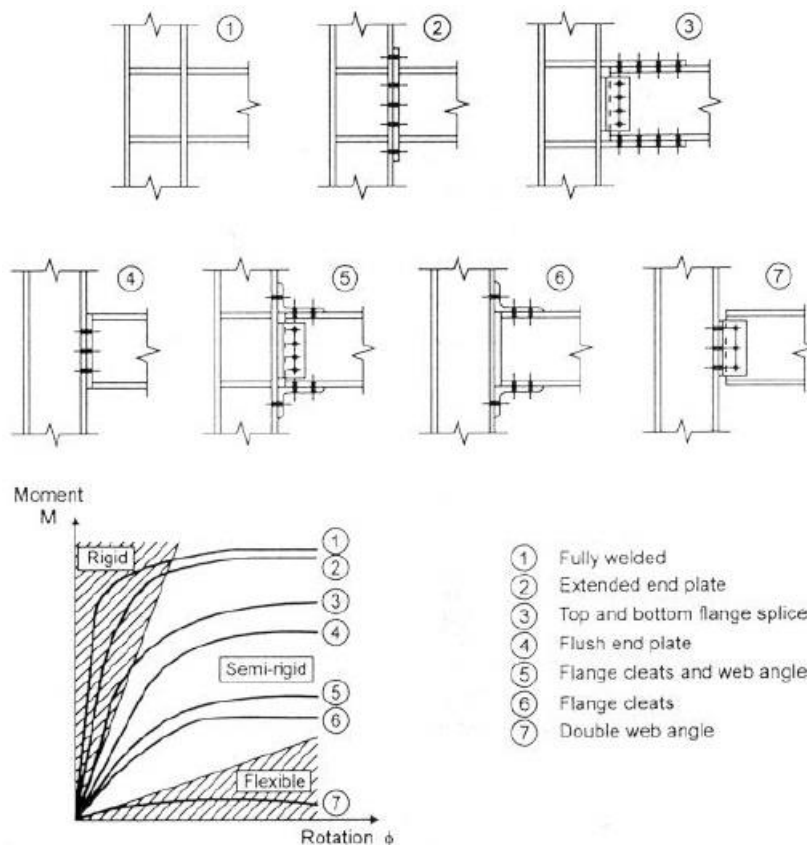
1.5 pav. Elemento skerspjūvio ir mazgo M- φ ryšys (Pagal pusiau standžių... [2017])

1.3. Plieninių rėminių konstrukcijų mazgų klasifikavimas

Rėminėse konstrukcijose egzistuoja sijų-kolonų ir kolonų-įtvirtinimų (bazių) mazgai. Pagrindinis dėmesys skiriamas sijos-kolonos mazgams. Pažymėtina, kad šiuo metu pagal konstrukcinius požymius nėra bendros ir griežtos mazgų klasifikacijos. 1.6 ir 1.7 paveiksluose pateikiamos dvi sijų-kolonų mazgų konstrukcinės klasifikacijos.



1.6 pav. Sijos-kolonos mazgų klasifikavimas (Faella *et al.* 1999)



1.7 pav. Sijų-kolonų mazgų klasifikacija ir mazgų $M-\phi$ ryšys. (Pagal Urbonas 2006)

Kiekvienam mazgo tipui $M-\varphi$ ryšys sudaromas panaudojant mazgų tyrimo eksperimentinius duomenis, skaitiniais metodais ar analitiniu būdu. Iš 1.7 paveikslo matyti, kad mazgų elgsena, kuri aprašoma $M-\varphi$ ryšiu, priklausomai nuo mazgo konstrukcijos kinta nuo absoliučiai standaus mazgo (1 ir 2 kreivės) iki visiškai lankstaus (7 kreivė). Tarpiniai mazgai atitinka pusiau standžių mazgų tipą. Iš 1.7 paveikslo taip pat matyti, kad pusiau standūs mazgai elgiasi kaip netiesinės sistemos.

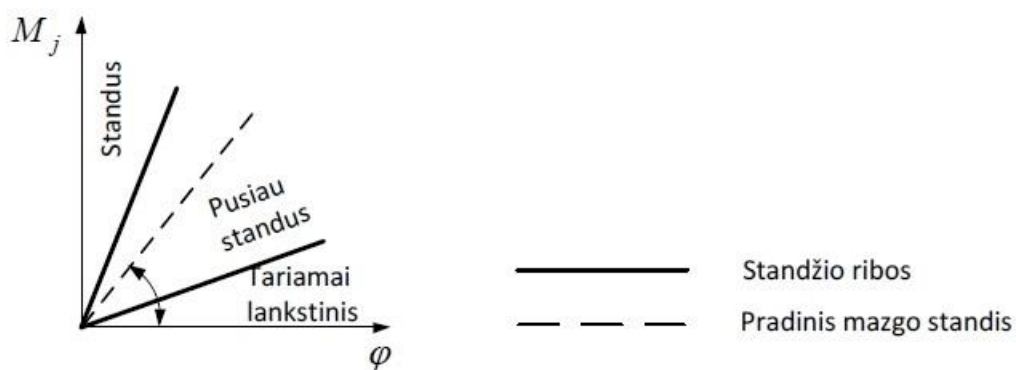
Galima išskirti šias pagrindines netiesiškumo priežastis (Pagal Urbonas 2006):

- mazgas yra sukomponuotas iš varžtų ir įvairios formos valcuotų ir lakštinių elementų;
- apkraunant mazgą jo elementai vienas kito atžvilgiu įvairiose apkrovimo pakopose pasislenka nevienodai;
- medžiagos tekėjimas vyksta tik kai kuriuose mazgo elementuose;
- įtempių koncentracija ties skylėmis, sąstandomis ir t. t.
- sijos ir kolonos juostų ir sienelės vietinis pastovumo netekimas jungties zonoje;
- bendras geometrijos pasikeitimas veikiant apkrovai.

Toliau aptariamas mazgų klasifikavimas pagal standumo ir stiprumo kriterijus. Pažymėtina, kad pagal šiuos kriterijus mazgai klasifikuojami ne tik mokslinėje literatūroje, bet ir projektavimo normose.

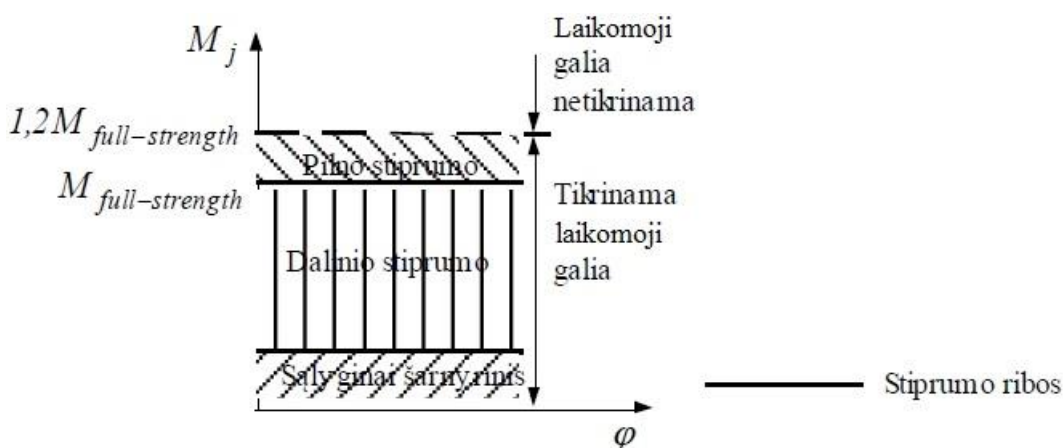
1.3.1. Mazgų klasifikavimas pagal standumą ir stiprumą

Pagal standumą mazgai skirstomi į standžius, pusiau standžius (dalinio standumo) ir lanksčius. Šių mazgų klasifikacija pagal pradinį standumą $S_{j,ini}$ pateikiama 1.8 paveiksle.



1.8 pav. Mazgų klasifikavimas pagal standumą (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

Pagal stiprumą mazgai skirstomi į pilno stiprumo, dalinio stiprumo ir sąlyginai lanksčius (1.9 pav.).



1.9 pav. Mazgų klasifikavimas pagal stiprumą (Pusiau standžių... [2017])

Pilno stiprumo mazgo lenkiamoji laikomoji galia turi būti ne mažesnė už jungiamojo elemento lenkiamąją laikomąją galią. Dalinio stiprumo mazgų lenkiamoji laikomoji galia yra mažesnė už jungiamojo elemento lenkiamąją laikomąją galią. Sąlyginai lankstaus mazgo lenkiamoji laikomoji galia yra labai nedidelė ir gali būti nevertinama skaičiavimuose. Pažymėtina, kad dažnai pastaroji grupė mazgų atskirai neišskiriama ir yra įjungiama į dalinio stiprumo mazgų grupę.

Literatūroje klasifikuojant mazgus dažniausiai taikomi 1.2 ir 1.3 lentelėse pateikti rėžiai.

1.1 lentelė. Mazgų klasifikavimas pagal standumą (LST EN 1993-1-8:2005)

Mazgas	Sąlyga	
	Rėmas be ryšių rėmo plokštumoje	Rėmas su ryšiais rėmo plokštumoje
Standus	$S_{j,ini} \geq 25EI / L$	$S_{j,ini} \geq 8EI / L$
Pusiau standus	$0,5EI / L < S_{j,ini} < 25EI / L$	$0,5EI / L < S_{j,ini} < 8EI / L$
Lankstinis	$S_{j,ini} \leq 0,5EI / L$	

Čia EI/L – elemento santykinis standis.

1.2 lentelė. Mazgų klasifikavimas pagal stiprumą (LST EN 1993-1-8:2005)

Mazgas	Sąlyga
Pilno stiprumo	$M_{j,Rd} \geq M_{full-strength}$
Dalinio stiprumo	$0,25M_{full-strength} < M_{j,Rd} < M_{full-strength}$
Sąlyginai lankstinis	$M_{j,Rd} \leq 0,25M_{full-strength}$

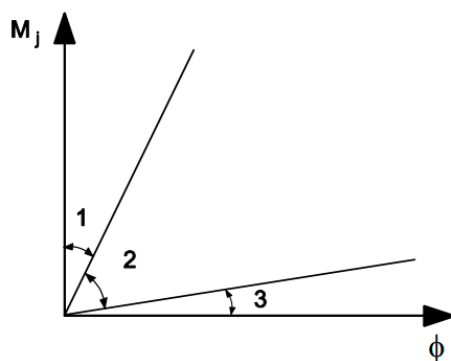
Čia $M_{full-strength}$ – prijungiamo elemento lenkiamoji laikomoji galia

1.3.2. Mazgų klasifikavimas pagal LST EN 1993-1-8:2005

Europos plieninių konstrukcijų projektavimo standarte (LST EN 1993-1-8:2005) mazgai klasifikuojami pagal standį ir stiprumą (t. y. laikomąją galią).

Pagal standį Eurokodą (LST EN 1993-1-8:2005) išskiriamos trys mazgų grupės (1.10 pav.):

1. standūs;
2. pusiau standūs (dalinio standumo);
3. tariamai lankstiniai.



1.10 pav. Mazgų klasifikavimas pagal standį (LST EN 1993-1-8:2005)

Mazgas nustatomas jo pradinį sukamąjį standį $S_{j,ini}$ lyginant su 1.4 lentelėje pateikiamomis klasifikacijos ribomis.

1.3 lentelė. Mazgų, išskyrus kolonų pėdas, ribų klasifikacija (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

ZONA 1 Standus mazgas	$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$, $k_b = 8$ rėmams, kuriuose ryšių sistema sumažina horizontalius poslinkius ne mažiau kaip 80%; $k_b = 25$ kitiems rėmams, kuriems kiekviename aukšte $K_b / K_c \geq 0,1$. Jei $K_b / K_c < 0,1$ mazgas klasifikuojamas kaip pusiau standus.
ZONA 2 Pusiau standus mazgas	Visi mazgai nepatenkantys į 1 ir 3 zonas. Mazgai patenkantys į 1 ir 3 zonas skaičiuotojų taip pat gali būti laikomi pusiau standžiais.
ZONA 3 Tariamai lankstus mazgas	$S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b$

čia:

K_b – vidutinė visų sijų, esančių to aukšto viršuje, I_b / L_b reikšmė;

K_c – vidutinė visų kolonų, esančių tame aukšte, I_c / L_c reikšmė;

I_b – sijos inercijos momentas;

I_c – kolonos inercijos momentas;

L_b – sijos tarpatramis (atstumas tarp kolonų centrų, t. y. nuo vienos kolonos skerspjūvio sunkio centro iki kitos kolonos skerspjūvio sunkio centro);

L_c – aukšto kolonos aukštis.

Pagal stiprumą (laikomąją galią) LST EN 1993-1-8:2005 projektavimo normose mazgai skirstomi į tris grupes:

1. Tariamai lankstiniai mazgai – tai mazgai, kurie negali perimti momentų, turinčių įtakos elementų elgsenai. Tariamai lankstinio mazgo stiprumas yra $M_{j,Rd} \leq 0,25M_{full\ strength}$, čia $M_{full\ strength}$ – mazgo laikomoji galia, kuri reikalinga, kad mazgas būtų laikomas pilno stiprumo.
2. Viso stiprumo mazgai – tai mazgai, kurių laikomoji galia yra ne mažesnė nei elemento, kuris jungiamas mazge.
3. Dalinio stiprumo mazgai – tai mazgai, kurie neatitinka viso stiprumo mazgo arba tariamai lankstinio mazgo kriterijų.

Pažymėtina, kad LST EN 1993-1-8:2005 projektavimo normos reikalauja įvertinti mazgų deformatyvumą jei tai turi įtakos įrašų ir poslinkių pasiskirstymui. Ryšys tarp rėmo analizės tipo ir mazgų tipų pateikiamas 1.5 lentelėje.

1.4 lentelė. Ryšys tarp rėmo analizės tipo ir mazgų tipų modelis (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

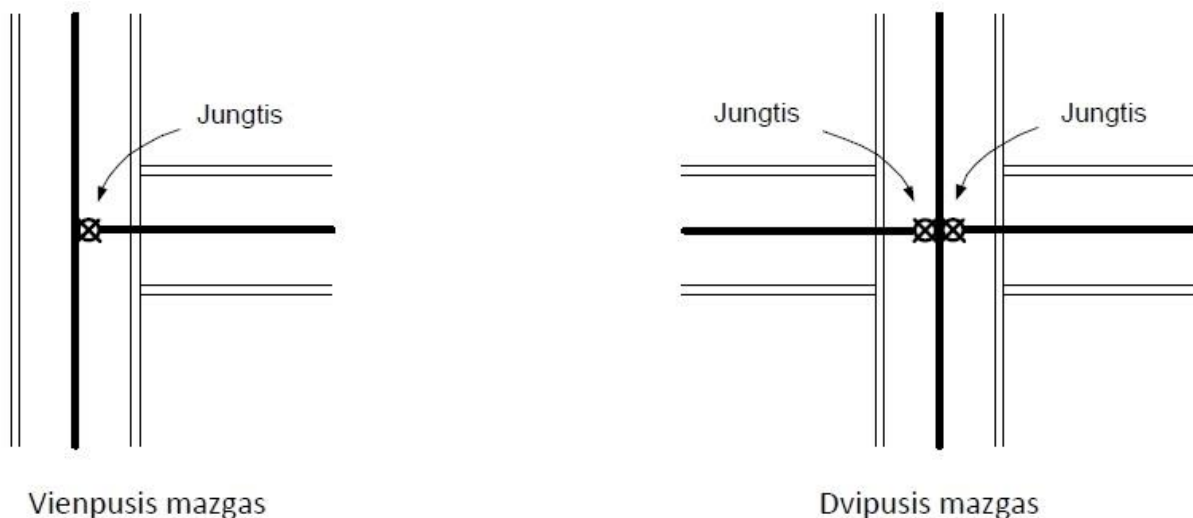
Visuminės analizės metodas	Mazgo klasifikacija pagal standį ir stiprumą		
Tamprus skaičiavimas	Tariamai lankstus	Standus	Pusiau standus
Standus-plastinis skaičiavimas	Tariamai lankstus	Viso stiprumo	Dalinio stiprumo
Tamprus-plastinis skaičiavimas	Tariamai lankstus	Standus ir viso stiprumo	Pusiau standus ir dalinio stiprumo; Pusiau standus ir viso stiprumo; Standus ir dalinio stiprumo

Atkreiptinas dėmesys, kad tampriame skaičiavime mazgai klasifikuojami pagal standumą, standžiame-plastiniame skaičiavime mazgai klasifikuojami pagal stiprumą, o tampriame-plastiniame skaičiavime mazgai yra klasifikuojami pagal standumą ir stiprumą.

1.4. Pusiau standžių mazgų elgsena ir modeliavimas

1.4.1. Pusiau standžių mazgų modeliavimas

Tikrasis konstrukcijos mazgas skaičiuojamojoje schemoje modeliuojamas pakeičiant strypus vienmačiais elementais, einančiais per strypo sunkio centrą. Šie elementai sujungiami mazge viename taške, nenaudojant standžių intarpų (1.11 pav.).

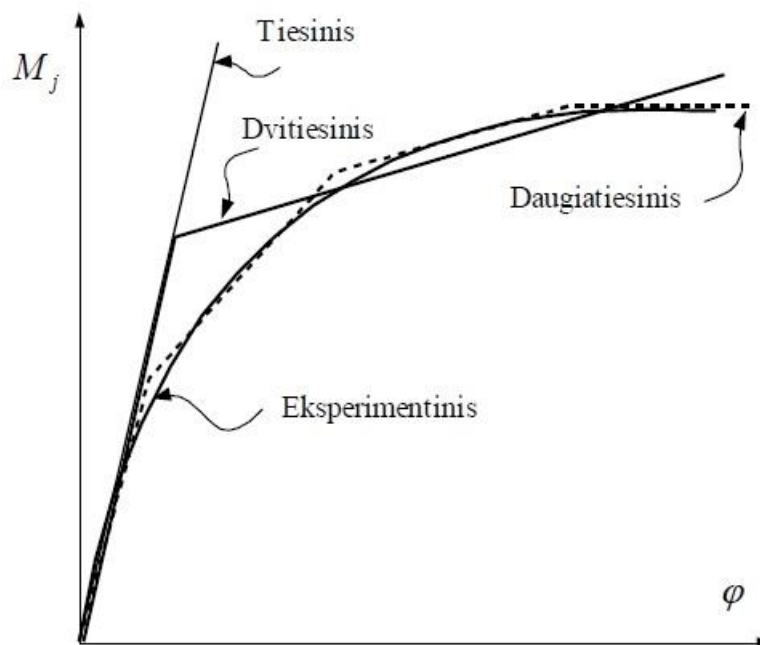


1.11 pav. Mazgo modeliavimas (Pusiau standžių... [2017])

Pažymėtina, kad tikrąją mazgo elgsenos kreivę, kuri aprašoma sudėtingu dėsnio, naudoti ne visada patogiu, todėl dažniausiai tikroji kreivė išreiškiama (aproksimuojama) paprastesniu dėsnio, stengiantis ženkliai neprarasti tikslumo. Visgi paprastai sudėtingesnė kreivė tiksliau atspindi tikrąją mazgo elgseną.

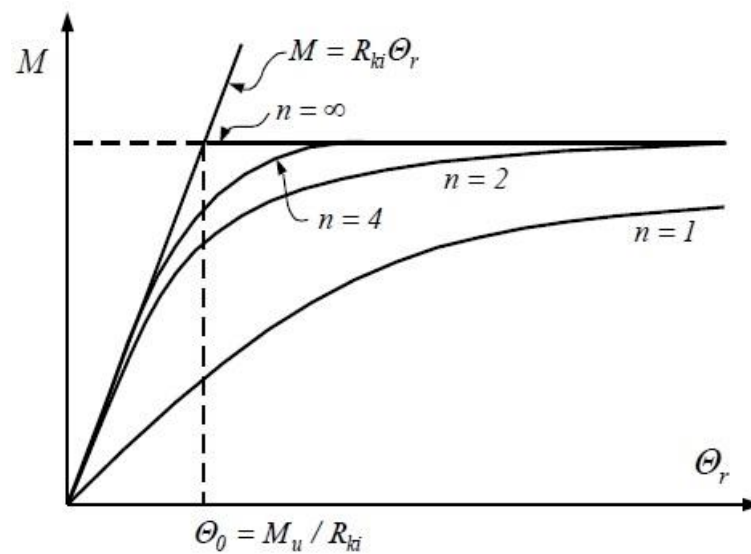
Įvairūs autoriai siūlo skirtingas mazgo elgsenos kreives $M-\varphi$ tam pačiam mazgo tipui. Tikrasis ryšys $M-\varphi$ gali būti išreiškiamas tiesėmis, polinomais, splainais, laipsnine funkcija, eksponentine funkcija ir kt.

Tiesiniame modelyje tikroji mazgo elgsenos kreivė pakeičiama ją išreiškiant tam tikru skaičiumi tiesių (1.12 pav.).



1.12 pav. Tiesiniai pusiau standaus mazgo M - φ ryšio modeliai (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

Netiesinių modelių yra sudaryta labai įvairių. 1.13 paveiksle pateikiamas vienas iš jų – trijų parametų netiesinis modelis (Chen *et al.* 1996).



1.13 pav. Trijų parametų netiesinis pusiau standaus mazgo M - φ ryšio modelis (Chen *et al.* 1996)

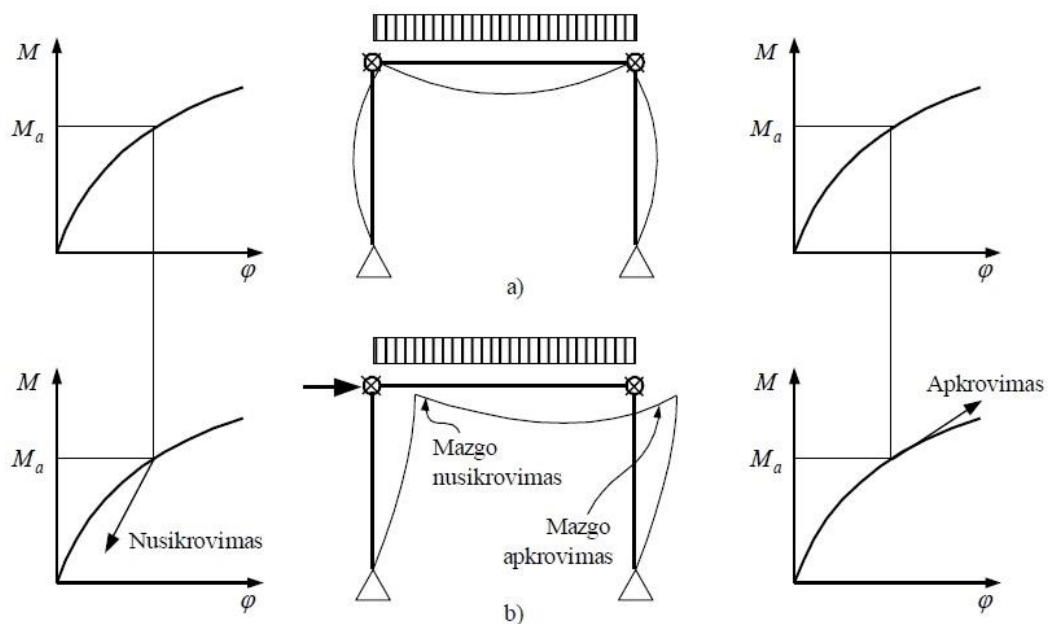
Pagal šį modelį M - φ ryšys užrašomas taip:

$$M = \frac{R_{ki} \Theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\Theta_r}{\Theta_0} \right)^n \right]^{\frac{1}{n}}};$$

$$\text{čia: } \theta_0 = \frac{M_u}{R_{ki}};$$

Šioje išraiškoje pateikiami originalūs W. F. Chen ir kiti (Chen *et al.* 1996) žymenys: R_{ki} – pradinis mazgo standumas (ankstesniuose skyriuose šis dydis žymėtas $S_{j,ini}$); θ_r – mazgo pasisukimas (ankstesniuose skyriuose šis dydis žymėtas φ); M_u – mazgo laikomoji galia. Lyginant su Eurokodo klasifikacija, momentas M_u apytikriai būtų lygus mazgo laikomajai galiai $M_{j,Rd}$. Formos parametras η priklauso nuo mazgo tipo – kuo mazgas standesnis, tuo didesnė šio parametro reikšmė.

Atkreiptinas dėmesys, kad 1.12 ir 1.13 paveiksluose parodytas ryšys tarp momento ir pasisukimo, kai momentas nekeičia krypties. Jei pridedant rėmo apkrovas į mazgą sueinančiuose strypuose momentas pakeičia kryptį, mazgas dažniausiai nusikrauna ne pagal tą pačią $M-\varphi$ kreivę, bet pagal tiesę (Faella *et al.* 1999, Chen *et al.* 1996). Rėmo mazgo nusikrovimo pavyzdys pateikiamas 1.14 paveiksle.

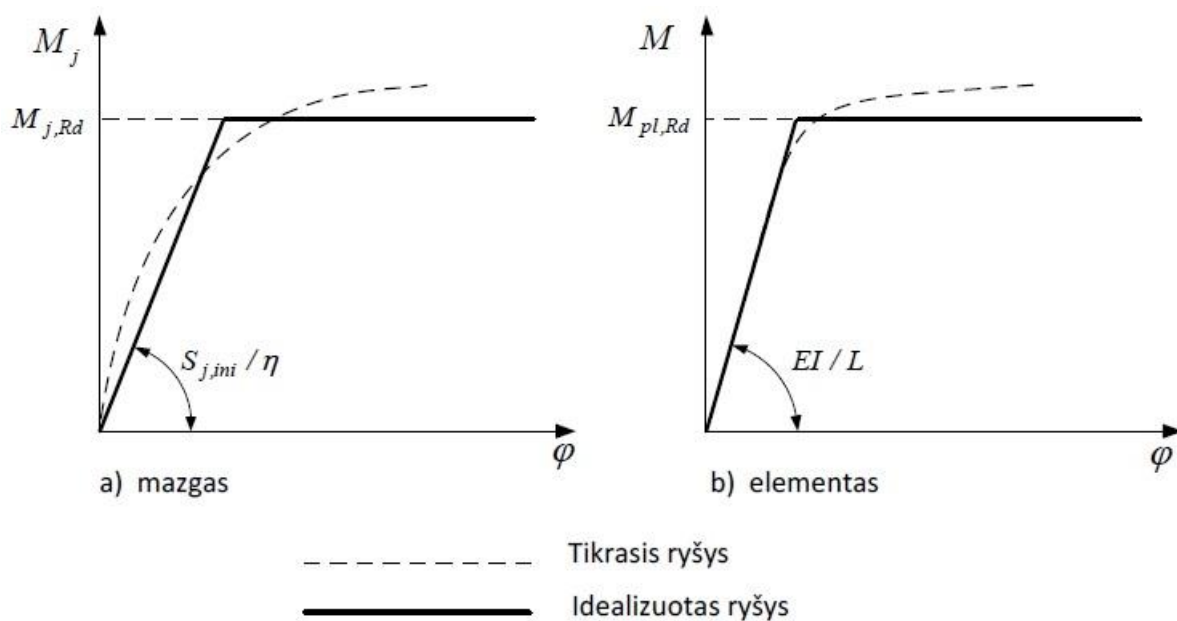


1.14 pav. Rėmo mazgo nusikrovimo pavyzdys

Pateiktame pavyzdyje rėmas pirmiausia apkraunamas vertikalia savojo svorio apkrova (1.14a pav.). Abiejų mazgų lenkimo momentų ir pasisukimų reikšmės yra vienodos. Paskui pridėjus horizontalią, pavyzdžiui, vėjo apkrovą (1.14b pav.), vienas iš mazgų nusikrauna, o kitas yra toliau apkraunamas. Remiantis šiuo pavyzdžiu, galima daryti išvadą, kad vienodi mazgai, konstrukcijoje gali elgtis skirtingai.

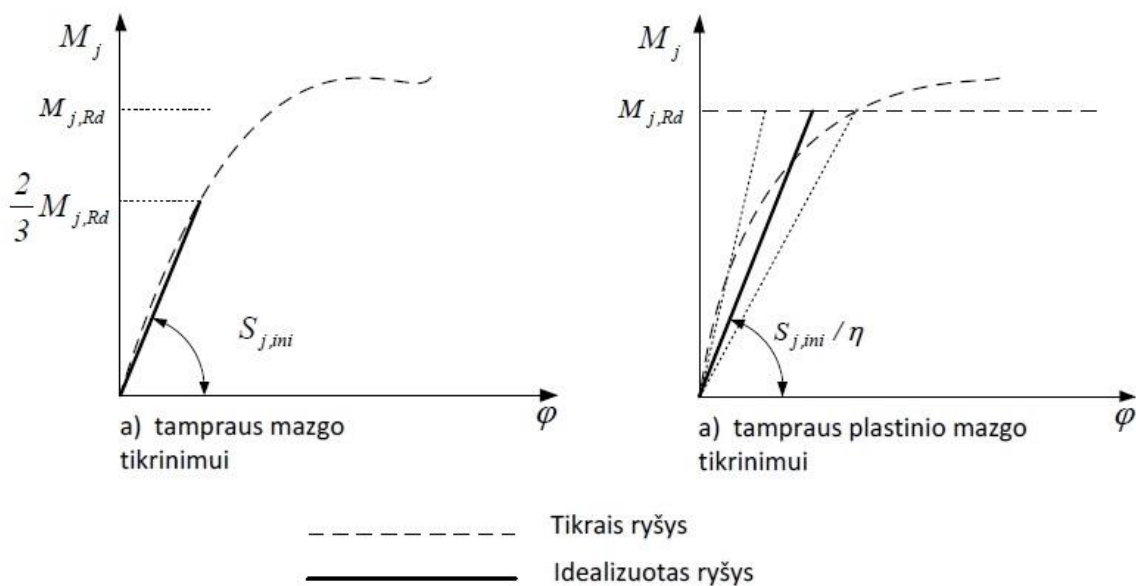
1.4.2. Pusiau standžių mazgų elgsenos idealizavimas pagal LST EN 1993-1-8:2005

LST EN 1993-1-8:2005 pateikia mazgų $M-\varphi$ ryšio idealizavimo schemas. Paprasčiausias idealizavimo atvejis yra priimti, kad mazgai elgiasi pagal idealiai tampriai plastinį ryšį (1.15 pav.). Šis idealizavimo būdas yra paprastas ir tradiciškai taikomas elementų skerspjūvio elgsenos lenkiant aprašymui. 1.15 paveiksle $M_{j,Rd}$ žymima mazgo lenkiamoji laikomoji galia pagal LST EN 1993-1-8:2005.



1.15 pav. $M - \varphi$ ryšio idealizavimas (Pusiau standžių... [2017])

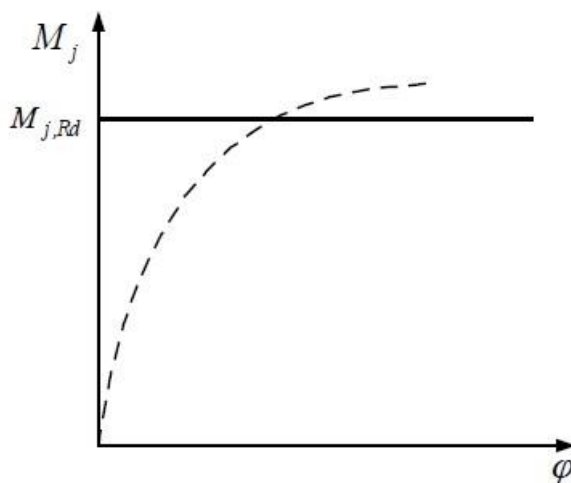
Mazgų elgsenos idealizavimas, kai atliekama konstrukcijos tampri analizė. LST EN 1993-1-8:2005 leidžia tikrinti mazgo stiprumą tamprioje arba plastinėje stadijoje, kuomet atliekama konstrukcijos tampri analizė (1.16 pav.).



1.16 pav. $M - \varphi$ kreivės aproksimavimas, kai atliekama konstrukcijos tampri analizė (Pusiau standžių... [2017])

Mazgo standumas priimamas lygus pradiniam mazgo standumui $S_{j,ini}$, jei mazgas bus tikrinamas tamprioje stadijoje ir mazgo standumas priimamas $S_{j,ini} / \eta$, jei mazgas bus tikrinamas plastinėje stadijoje. Šis $S_{j,ini} / \eta$ mazgo standumas gaunamas nubrėžiant tiesę, dalinančią kampą, kurį sudaro pradinio standumo tiesė ir tiesė, jungianti koordinatų pradžios tašką ir tikrosios elgsenos kreivės ir tiesės $M_{j,Rd}$ susikirtimo tašką, pusiau. Parametras η (patikslinamasis standžio koeficientas) nurodomas LST EN 1993-1-8:2005 ir, pavyzdžiui, daugeliui sijos-kolonos varžtinių mazgų yra lygus 2.

Mazgų elgsenos idealizavimas, kai atliekama konstrukcijos standi plastinė analizė. Šiuo atveju reikia žinoti tik mazgo laikomąją galią, kad būtų galima nustatyti, kada ir kokioje konstrukcijos vietoje atsiranda plastinis lankstas. Tokio mazgo elgsenos schema parodyta 1.17 paveiksle.



1.17 pav. $M - \varphi$ kreivės aproksimavimas, kai atliekama konstrukcijos standi plastinė analizė (Pagal Faella *et al.* 1999)

Mazgų elgsenos idealizavimas, kai atliekama konstrukcijos tampaiai plastinė analizė. Šiuo atveju mazgo stiprumas ir standumas yra vienodai svarbūs ir analizuojant konstrukciją reikalingos mazgo standumo ir laikomosios galios charakteristikos. Mazgo standumas apskaičiuojamas taip pat, kaip atliekant prieš tai aptartą tampaiają analizę ir tikrinant mazgą plastinėje stadijoje (1.16 pav.).

1.4.3. *Pusiau standžių mazgų charakteristikos. Komponentų metodas*

Vienas iš svarbiausių etapų taikant skaičiavimą su pusiau standžiais mazgais yra mazgų charakteristikų nustatymas. Pagrindinėmis charakteristikomis laikomi mazgo stiprumas (lenkiamoji laikomoji galia) ir standis.

Mazgo charakteristikoms nustatyti gali būti naudojami trys būdai:

1. eksperimentinis;
2. skaitinis;
3. analitinis.

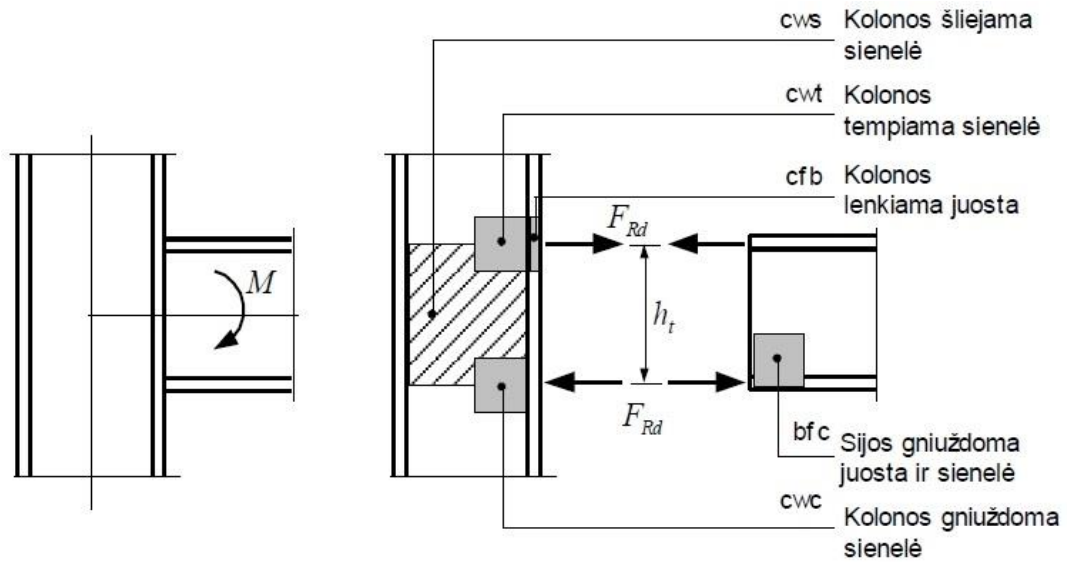
Pažymėtina, kad projektavime paprastai galima pritaikyti tik analitinį ir skaitinį metodus. Analitiniai metodai remiasi mechaninių ir geometrinių atskirų mazgo elementų charakteristikų žinojimu. Eksperimentinis metodas dažniausiai taikomas tiriamuosiuose darbuose.

Europos plieninių konstrukcijų projektavimo standartuose (LST EN 1993-1-8:2005) pateikiama skaičiavimo koncepcija, kuri grindžiama komponentų skaičiavimo metodu. Skaičiuojant komponentų metodu, dėmesys yra skiriamas kiekvienam mazgo komponentui, pavyzdžiui, kolonos sienelėms, betoniniam pamatui, plieninei plokštei po kolona, t. y. bet kuris mazgas priimamas kaip atskirų mazgo komponentų visuma. Dėl šios priežasties skaičiavimas tampa sudėtingesnis.

Pagrindiniai komponentų metodo etapai yra šie:

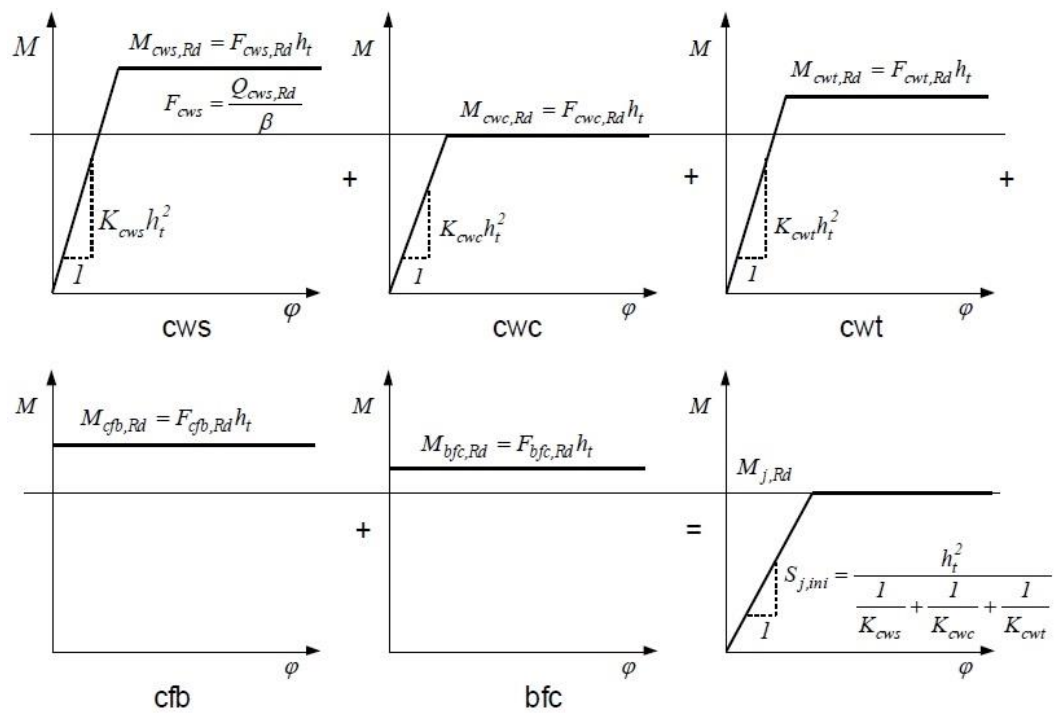
- aktyvių komponentų mazge nustatymas;
- aktyvių komponentų stiprumo ir / arba standumo charakteristikų nustatymas;
- visų aktyvių mazgo komponentų stiprumo ir standumo charakteristikų sumavimas ir viso mazgo stiprumo ir standumo charakteristikų nustatymas (pradinio standumo, stiprumo, jei reikia – visos deformavimo kreivės nustatymas).

Komponentų metodo taikymas parodomas paprastu pavyzdžiu – nustatant sijos-kolonos virinto mazgo charakteristikas. Šio mazgo sujungimas ir jo komponentai parodyti 1.18 paveiksle. Trys komponentai (cws, cwt, cwc) lemia mazgo standumą ir stiprumą lenkiant, kiti du komponentai (cfb, bfc) veikiant lenkimo jėgai turi įtakos tik mazgo stiprumui. Taigi, mazge iš viso yra penki aktyvūs komponentai:



1.18 pav. Sijos-kolonos virinto mazgo komponentai (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

Virinto sujungimo komponentų sumavimo algoritmas pateikiamas 1.19 paveiksle.



1.19 pav. Virinto sujungimo komponentų sumavimo algoritmas (Pagal LST EN 1993-1-8:2005)

Priimama, kad mazgo lenkiamąją galią $M_{j,Rd}$ lemia silpniausias komponentas. Tuomet:

$$F_{Rd,min} = \min(F_{cws,Rd}, F_{cwc,Rd}, F_{cwt,Rd}, F_{cfb,Rd}, F_{bfc,Rd});$$

$$M_{j,Rd} = F_{Rd,min} \cdot h_t;$$

Mazgo pradinis standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_{jini} = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_{cwt}}};$$

Pažymėtina, kad mazgo atskirų komponentų laikomoji galia (jėgos $F_{i,Rd}$) ir standumo koeficientai (K_i) apskaičiuojami pagal LST EN 1993-1-8:2005.

1.4.4. Rėmų su pusiau standžiais mazgais analizė

Rėmų skaičiavimas su absoliučiai standžiais arba su idealiai lanksčiais mazgais yra žymiai paprastesnis nei su pusiau standžiais mazgais. Pažymėtina, kad rėmų analizė, kai mazgai nėra absoliučiai standūs arba idealiai lankstūs, paprastai atliekama žingsniniu metodu. Šį metodą tenka naudoti, kadangi dauguma pusiau standžių mazgų netiesiškai elgiasi nuo pat apkrovimo pradžios. Visgi atskirais atvejais, kai pusiau standžių mazgų elgseną galima laikyti tiesine, gali būti taikomas ir tiesinis skaičiavimas.

Rėmai su pusiau standžiais mazgais gali būti modeliuojami baigtinių elementų metodu. Tam sudaromos pagrindinės baigtinių elementų priklausomybės:

- spyruoklės elementui, kuriuo gali būti modeliuojamas pusiau standus mazgas,
- strypiniam elementui, kuriuo modeliuojamas strypinis elementas.

Spyruoklės elementas parodytas 1.20 paveiksle.



1.20 pav. Spyruoklės elementas (Pusiau standžių... [2017])

Spyruoklės momento-pasisukimo ryšys užrašomas taip:

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k & -k \\ -k & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}.$$

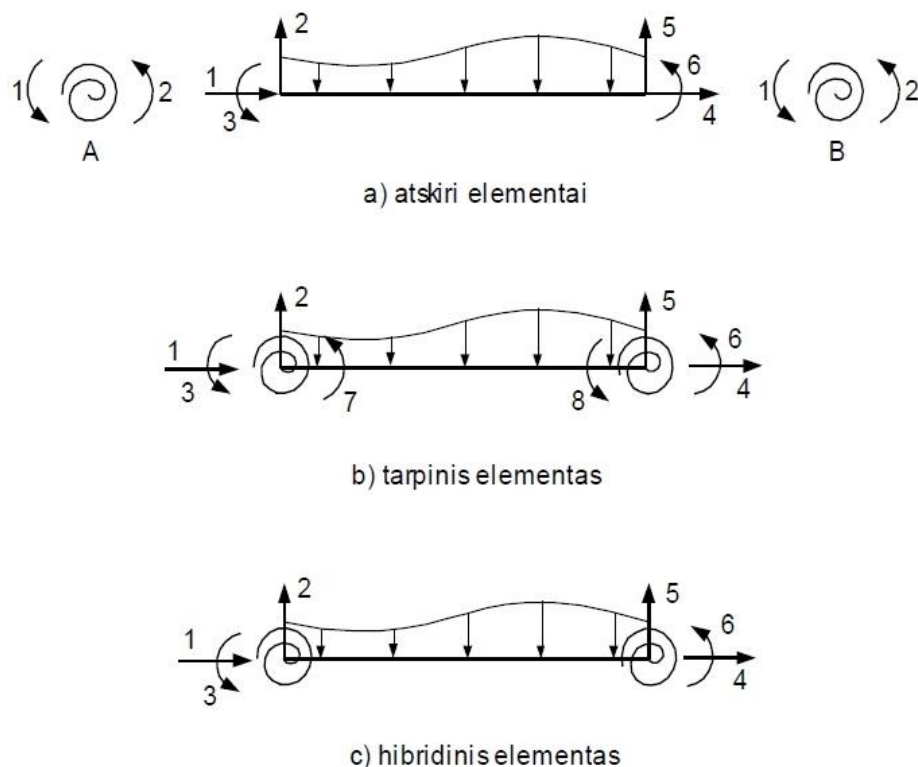
Čia:

r – momentai-reakcijos pusiau standžiam mazge (spyruoklėje);

$\varphi = u_1 - u_2$ – pasisukimas pusiau standžiam mazge;

k – pusiau standaus mazgo (spyruoklės) standumas.

Elementas, kuriuo modeliuojamas strypinis elementas ir jo galuose esantys pusiau standūs mazgai, gaunamas panaudojant procedūrą, parodytą 1.21 paveiksle. Tokia procedūra leidžia sumažinti laisvės laipsnių (poslinkių) skaičių.



1.21 pav. Hibridinis strypinis elementas (skaičiais parodyti poslinkių numeriai) (Pusiau standžių... [2017])

Lenkiamas elementas ir du pusiau standūs mazgai modeliuojami strypiniu elementu ir dviem spyruoklėmis (A ir B) (20 pav.). Toks modeliavimas gali būti taikomas naudojant skaičiavimo baigtiniais elementais programas, kuriose baigtinių elementų bibliotekose yra lenkiamas strypinis elementas ir spyruoklinis elementas. Pažymėtina, kad siekiant sumažinti skaičiavimų apimtį trys elementai gali būti sujungti į vieną hibridinį elementą (Chen *et al.* 1996).

1.5. Skyriaus išvados

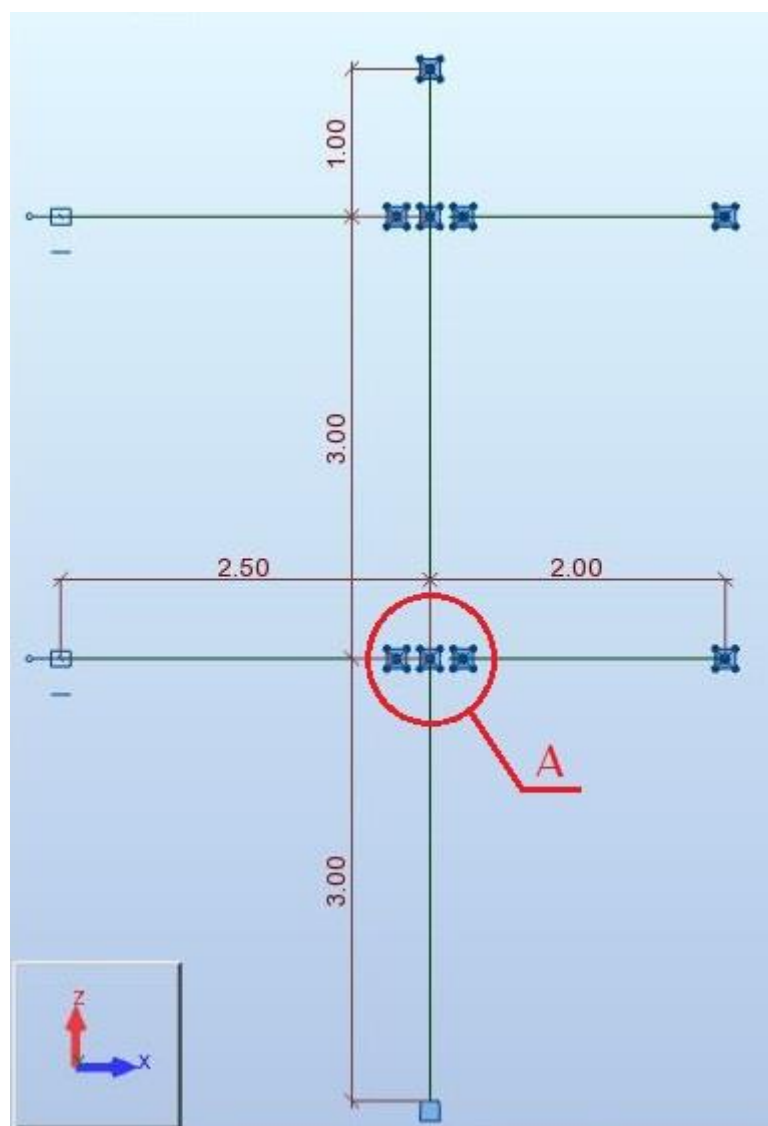
Kaip minėta, galimos trys mazgų idealizacijos: standūs, pusiau standūs (pasiduodantys) ir lankstūs. Standūs ir lankstūs mazgai jau seniai taikomi skaičiuoti statybinėms konstrukcijoms tačiau, kaip matyti iš literatūros apžvalgos, labai sudėtinga tinkamai įvertinti rėminių konstrukcijų pasiduodančių mazgų elgsena ir įtaka visos rėminės konstrukcijos elgsenai. Įdomu pažvelgti kaip visgi mazgas elgiasi konkrečios konstrukcijos atveju ir palyginti komponentų metodu gautus rezultatus su skaitinių tyrimų rezultatais.

Pusiau standžių mazgų iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymų profiliuotio kontūre tema nėra plačiai nagrinėta ne tik Lietuvoje bet ir kitur. Todėl ši tema puikiai tinka nestandartinių mazgų tyrimui komponentų metodu, kurio pritaikymas pastariesiems mazgams yra gana komplikotas.

Apžvelgus literatūrą galima prieiti išvadų, kad mazgų standis daro didelę įtaką bendram rėmų stabilumui, todėl yra labai svarbu tinkamai įvertinti tikrąjį mazgų standį projektuojant saugesnius ir ekonomiškai efektyvesnius pastatus.

2. PRADINIAI DUOMENYS ANALITINIAM IR SKAITINIAM METODAMS

Pradinėms įrašoms nustatyti ir parinkti skerspjūvius kolonomis bei sijoms naudojama *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* skaičiavimo programa. Šia programa sumodeliuotas dviaukštis rėmas naudojant simetrijos sąlygas, kuris yra pavaizduotas 2.1 paveiksle. Pastarasis rėmas yra sudarytas iš 5 metrų ilgio sijų, 2 metrų ilgio gembų ir 3 metrų aukščio kolonų o šių rėmų išdėstymo žingsnis yra 10 metrų. Analizei pasirinktas bet, kuris ne kraštinis rėmas. Vėjo apkrova nevertinama. Sijos – kolonos ir bazės mazgai yra standūs. Visų rėmo elementų metalo klasė S355.



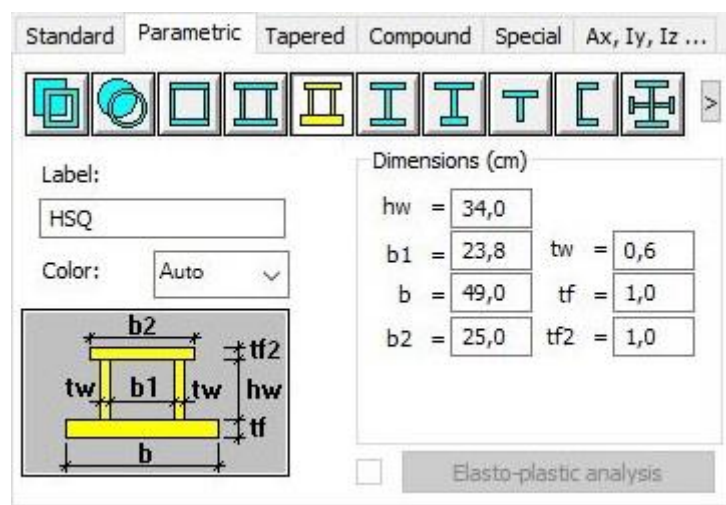
2.1 pav. Skaičiuojamoji nagrinėjamo rėmo schema

Visos rėmo sijos ir gembės apkraunamos linijine apkrova. Veikiančių apkrovų suvestinė pateikiama 2.1 lentelėje. Nuosavo svorio apkrova pridėta ant visų sijų ir gembų. Sniego apkrova veikia tik antro aukšto konstrukcijas. Naudojimo apkrova veikia tik pirmo aukšto konstrukcijas.

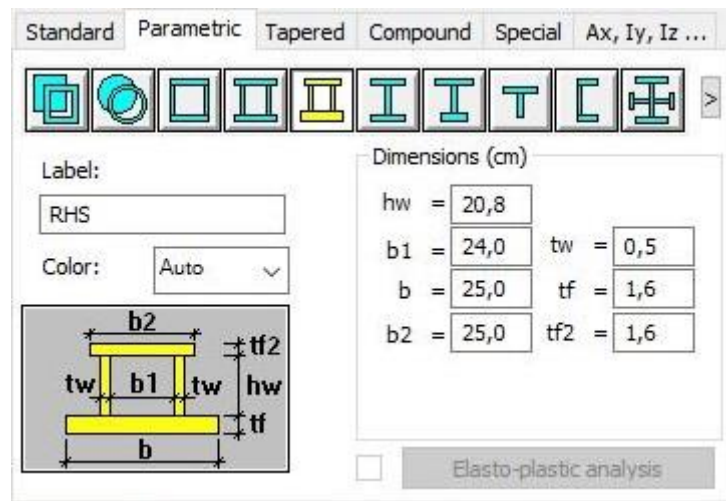
2.1 lentelė. veikiančių apkrovų suvestinė

Eilės Nr.	Apkrovos pavadinimas	Sluoksnio tankis, kg/m³	Sluoksnio storis, mm	Sluoksnio svoris, kg/m²	Charakteristinė apkrova, kN/m²	Atsargos koeficientas	Skaičiuojamoji apkrova, kN/m²
1.	Grindų nuosavas svoris:						
1.1	Danga – keramininės plytelės	1800	20	36.0	0.36	1.35	0.486
1.2	Cementinio skiedinio armuotas sluoksnis	2200	40	88.0	0.9	1.35	1.188
1.3	Skiriamasis sluoksnis – polietileno plėvelė	1000	0.2	0.2	0.002	1.35	0.003
1.4	Garso izoliacija – kieta mineralinė vata	200	20	4.0	0.04	1.35	0.054
1.5	Garso izoliacija – smelis	1600	20	32.0	0.32	1.35	0.432
1.6	Perdanga surenkama su siūlių užtaisymu		320	454.0	4.54	1.35	6.13
	Viso		420.2		6.142		8.29
2.	Sniegas – I rajonas			160	1.6	1.3	2.1
3.	Naudojimo apkrova – A kategorija			150	3.0	1.3	3.9
	Iš viso				10.7		14.27

Pusiau automatinio projektavimo būdu, parinkti profiliuočiai. Kolonos skerspjūvis – karštai formuotas tuščiaviduris profiliuotis SHS 250x250x6. Sijoms ir gembėms parinktų HSQ skerspjūvių geometrinės charakteristikos pateikiamos 2.2 paveiksle. Mazge A ir kituose sijų – kolonų mazguose sija ir kolona sujungiama per papildomą profiliuotą, kurio geometrinės charakteristikos pateikiamos 2.3 paveiksle. Rėmo elementų išnaudojimo koeficientai pateikiami 2.4 paveiksle.



2.2 pav. HSQ skerspjūvio geometrinės charakteristikos

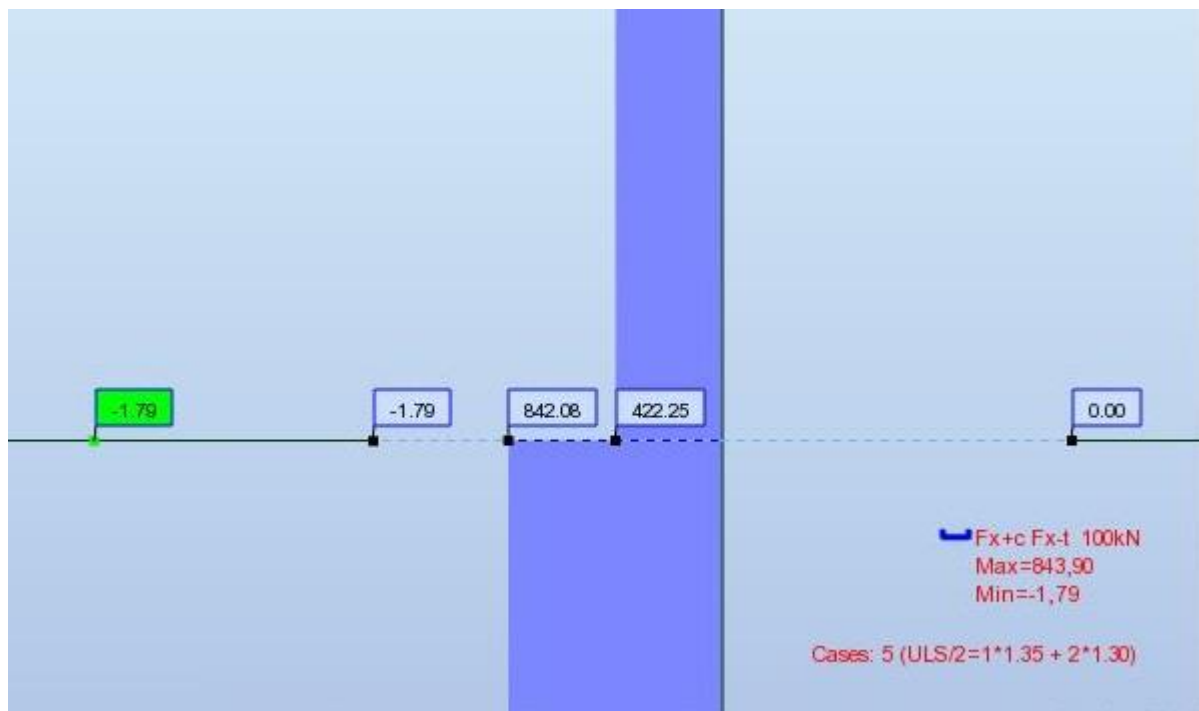


2.3 pav. Jungiamojo elemento skerspjūvio geometrinės charakteristikos

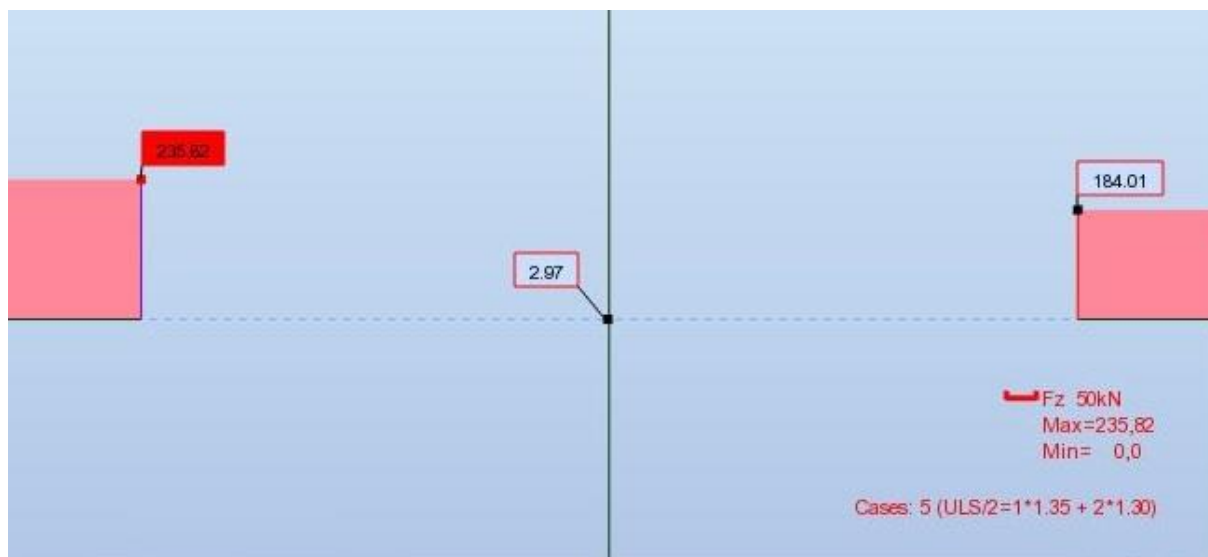
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
1 Column	QH 250x250x6	S 355	30.18	30.1	0.47	4 ULS/1=1*1.35 + 2*1.30 + 3*0.65
2 Beam_	HSQ	S 355	40.61	49.0	0.30	4 ULS/1=1*1.35 + 2*1.30 + 3*0.65
3 Beam_	HSQ	S 355	40.61	49.0	0.30	4 ULS/1=1*1.35 + 2*1.30 + 3*0.65
6 Beams	RHS	S 355	57.96	70.5	0.51	5 ULS/2=1*1.35 + 2*1.30
7 Beams	RHS	S 355	57.96	70.5	0.53	4 ULS/1=1*1.35 + 2*1.30 + 3*0.65

2.4 pav. Rėmo elementų išnaudojimas

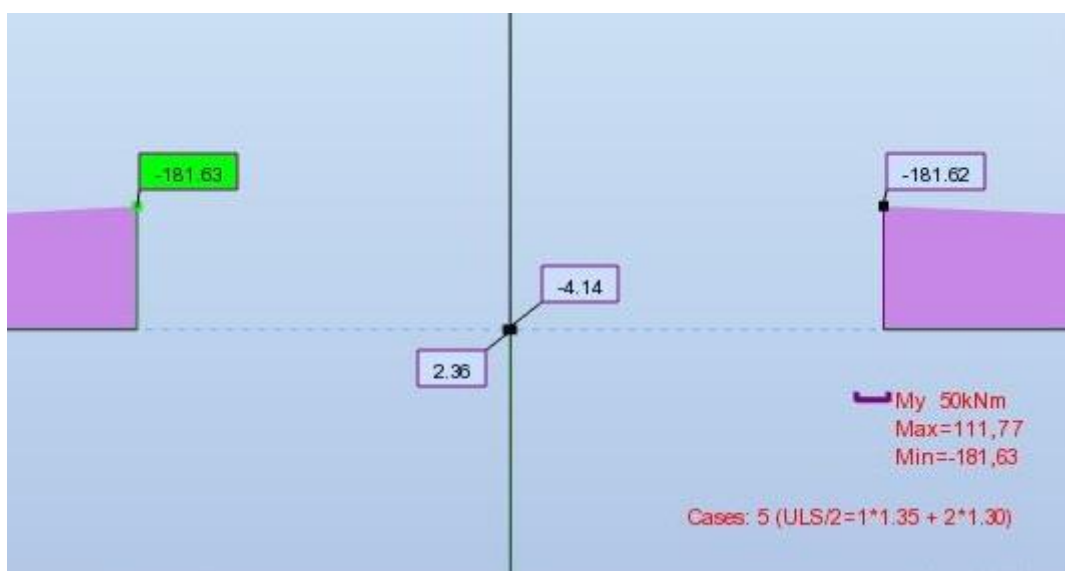
Modeliuojant konstrukcijų elgseną *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* skaičiavimo programa neįmanoma analizuoti ir įvertinti mazgo A įtempių – deformacijų būvio. Tolesnei analizei atlikti iš šios programos kaip pradiniai duomenys naudojamos ašinių jėgų (2.5 pav.), skersinių jėgų (2.6 pav.) ir lenkimo momentų diagramos (2.7 pav.).



2.5 pav. Mazge A veikiančių ašinių jėgų diagrama

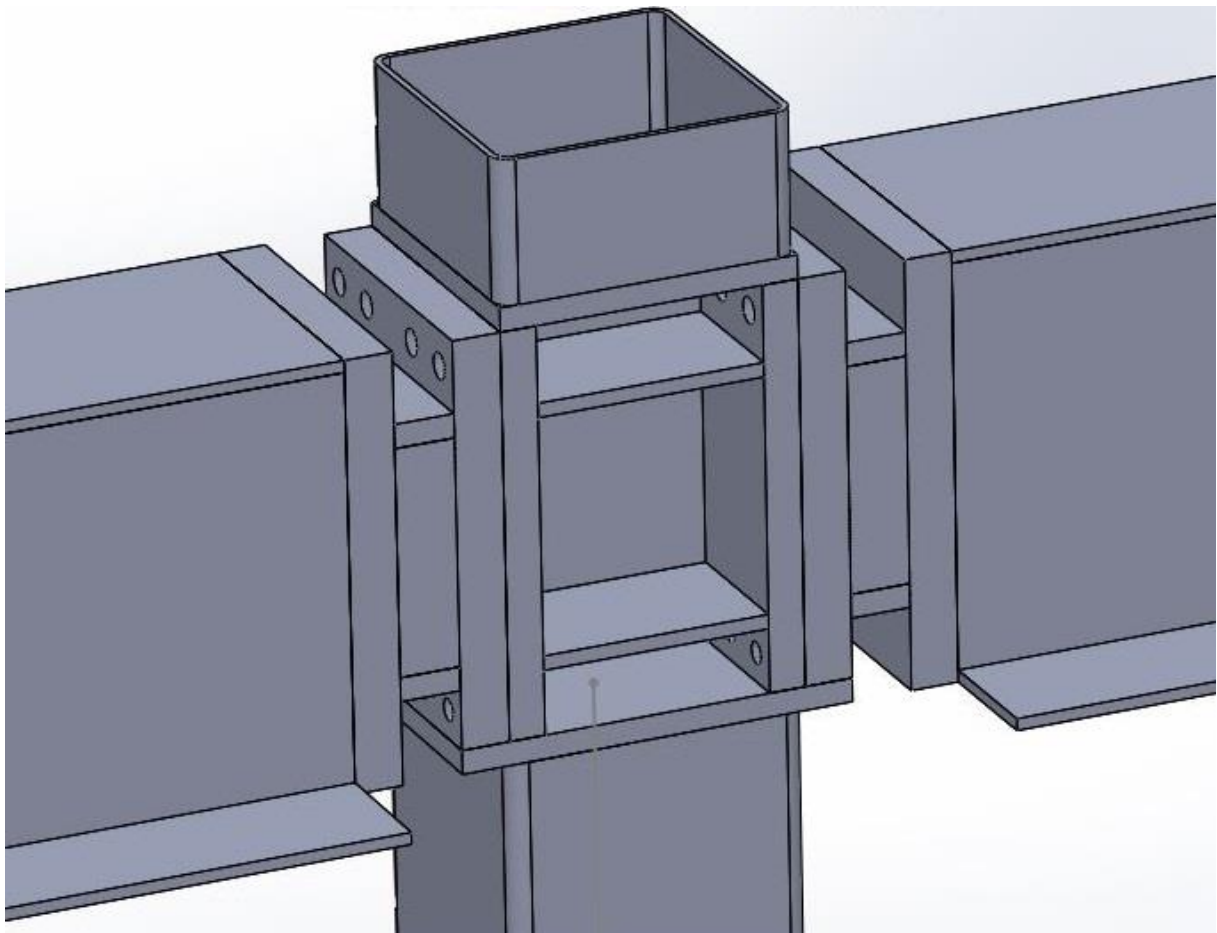


2.6 pav. Mazge A veikiančių skersinių jėgų diagrama



2.7 pav. Mazge A veikiančių lenkimo momentų diagrama

Pagal ankščiau minėtus duomenis (įrašas), buvo sukurtas 3D modelis *SolidWorks* programinės įrangos paketu, kuris buvo analizuojamas baigtinių elementų metodu ir atliekami analitiniai skaičiavimai pagal LST EN 1993–1–8:2005. Mazgo 3D vizualizacija matoma 2.8 paveiksle. Taip priartėjimo būdu buvo parinktos optimalios mazgo geometrinės charakteristikos.



2.8 pav. Nagrinėjama varžtinė jungtis

Jungtyje naudojami M20 10.9 klasės varžtai, o pati jungtis yra E kategorijos, todėl varžtai turi būti iš anksto įtempiami. Varžtų išankstinio įtempimo jėga $F_{p.Cd}$ randamas pagal LST EN 1993-8-1:2005, (3.1) išraišką:

$$F_{p.Cd} = \frac{0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M7}}.$$

Čia:

γ_{M7} – dalinis patikimumo koeficientas stipriųjų varžtų išankstiniam įtempimui, $\gamma_{M7} = 1,1$;

f_{ub} – varžto tempiamojo stiprio riba, $f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$;

A_s – varžo tempiamųjų įtempių plotas, $A_s = 245 \text{ mm}^2$;

tada:

$$F_{p.Cd} = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 10^6 \cdot 245 \cdot 10^{-4}}{1,1} = 155,9 \text{ kN}.$$

Mazgo ir jo komponentų duomenys bei geometrinės charakteristikos gautos nagrinėjant analitinius ir skaitinius skaičiavimus pateikiami toliau:

E – tamprumo modulis, $E = 210 \text{ GPa}$;

f_y – elementų stipris pagal takumo ribą, $f_y = 355 \text{ MPa}$;

f_{ub} – varžto tempiamojo stiprio riba, $f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$;

γ_{M0} – dalinis bet kurios klasės skerspjūvių laikomosios galios koeficientas, $\gamma_{M0} = 1,00$;

γ_{M1} – dalinis elementų klupumo laikomosios galios koeficientas, $\gamma_{M1} = 1,00$;

γ_{M2} – dalinis elementų klupumo laikomosios galios koeficientas, $\gamma_{M2} = 1,25$;

γ_{M2} – dalinis mazgų laikomosios galios patikimumo koeficientas, $\gamma_{M2} = 1,25$;

γ_{M7} – dalinis patikimumo koeficientas stipriųjų varžtų išankstiniam įtempimui, $\gamma_{M7} = 1,1$;

A_s – M20 varžo tempiamųjų įtempių plotas, $A_s = 245 \text{ mm}^2$;

b_c – kolonos plotis, $b_c = 250 \text{ mm}$;

t_{fc} – kolonos juostos storis, $t_{fc} = 20 \text{ mm}$;

t_{wc} – kolonos sienelės storis, $t_{wc} = 10 \text{ mm}$;

h_b – sijos aukštis ties galine plokšte, $h_b = 230 \text{ mm}$;

b_b – sijos plotis ties galine plokšte, $b_b = 250 \text{ mm}$;

t_{fb} – sijos juostos storis, $t_{fb} = 20 \text{ mm}$;

t_{wb} – sijos sienelės storis, $t_{wb} = 10 \text{ mm}$;

h_{ep} – sijos galinės plokštelės aukštis, $h_{ep} = 340 \text{ mm}$;

b_{ep} – sijos galinės plokštelės plotis, $b_{ep} = 250 \text{ mm}$;

t_{ep} – sijos galinės plokštelės storis, $t_{ep} = 35 \text{ mm}$;

t_{su} – kolonos viršutinės sąstandos storis, $t_{su} = 10 \text{ mm}$;

t_{sd} – kolonos apatinės sąstandos storis, $t_{sd} = 10 \text{ mm}$;

n_b – tempimo veikiamų varžtų skaičius, $n_b = 4$;

$m_{M20,edge}$ – atstumas nuo viršutinės varžtų eilės iki galinės plokštelės krašto, $m_{M20,edge} = 30 \text{ mm}$

$m_{M20,f}$ – atstumas nuo viršutinės varžtų eilės iki galinės plokštelės krašto, $m_{M20,f} = 30 \text{ mm}$;

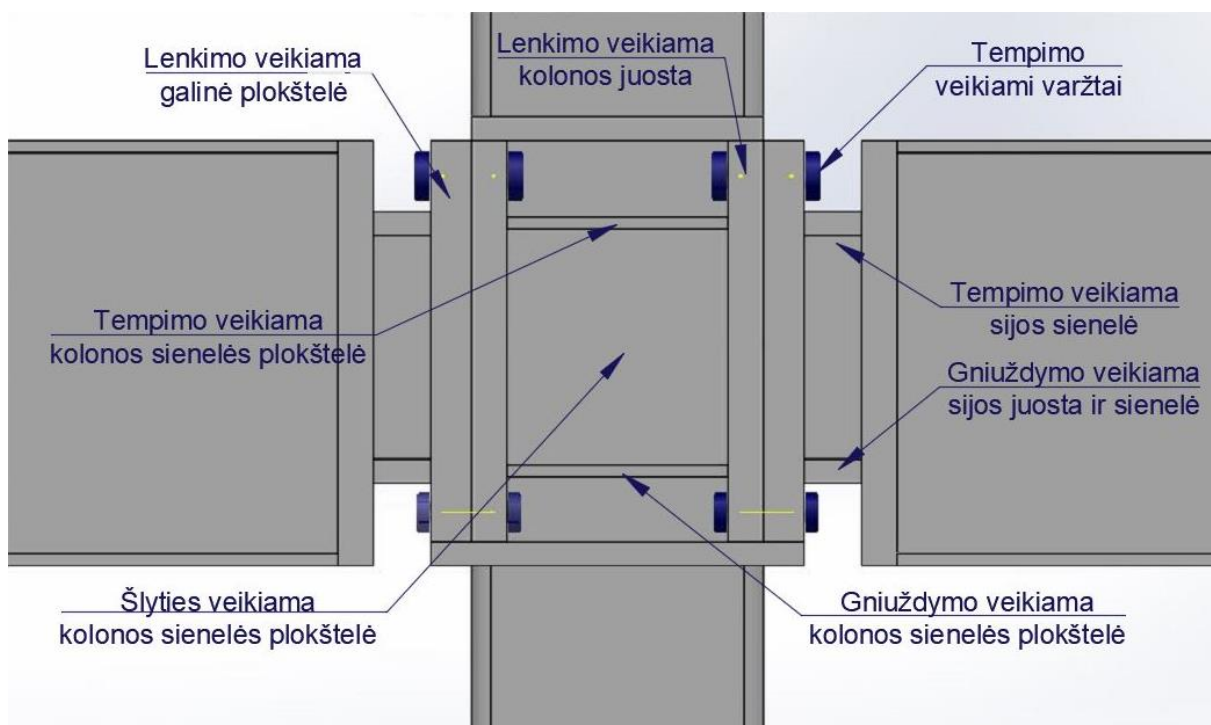
$m_{M16,edge}$ – atstumas nuo apatinės varžtų eilės iki galinės plokštelės krašto, $m_{M16,edge} = 25 \text{ mm}$;

$m_{M16,f}$ – atstumas nuo apatinės varžtų eilės iki galinės plokštelės krašto, $m_{M16,f} = 25 \text{ mm}$.

3. TYRIMAS ANALITINIAIS METODAIS

Sijos-kolonos mazgo komponentai, kurie matomi 3.1 paveiksle, pagal, kuriuos skaičiuojamas stiprumas ir standumas, yra šie:

- Šlyties veikiamą kolonos sienelės plokštelę.
- Skersinio gniuždymo veikiamą kolonos sienelės plokštelę.
- Skersinio tempimo veikiamą kolonos sienelės plokštelę.
- Lenkimo veikiamą kolonos juosta.
- Lenkimo veikiamą galinę plokštelę.
- Gniuždymo veikiamą sijos juosta ir sienelę.
- Tempimo veikiamą sijos sienelę.
- Tempimo veikiami varžtai.



3.1 pav. Sijos-kolonos mazgo komponentai

Tiriamo mazgo stiprumą pagal LST EN 1993-1-8:2005 lemia silpniausias iš visų aštuonių mazgo komponentų. Tiriamo mazgo standumui pagal LST EN 1993-1-8:2005 neturi įtakos gniuždymo veikiamą sijos juosta ir sienelę ir tempimo veikiamą sijos sienelę. Kadangi nagrinėjamame mazge naudojami iš anksto įtempiami varžtai perimti tempimo jėgas mazge, kurių išankstinio įtempimo jėga minimizuoja varžtų įtaką mazgo standumui, standumo skaičiavimuose šis komponentais taip pat nebus vertinamas.

3.1. Vidinės jėgos

Priimama, kad elemento vidinių jėgų ir momentų įtempiai neturi įtakos pagrindinių mazgo komponentų stiprumo skaičiavimui, išskyrus tuos atvejus, kurie aprašyti žemiau:

1. Išilginiai kolonos įtempiai paisomi, kai skaičiuojamas kolonos sienelės stiprumas gniuždymui
2. Šlytis kolonos sienelėje turi būti paisoma, kai skaičiuojama
 - Kolonos sienelės stiprumas skersiniam gniuždymui;
 - Kolonos sienelės stiprumas skersiniam tempimui.

3.2. Lenkimo momentai

Bet kokio mazgo lenkiamo elemento skaičiuotinis stiprumo atsparis gaunamas iš vidinių jėgų pasiskirstymo ir pagrindinių komponentų skaičiuotinio stiprumo LST EN 1993-1-8:2002 dalies 6.1 lentelė jėgoms. Priimama, kad sijos skaičiuotinė ašinės jėgos reikšmė neviršys 5% elemento, veikiamo ašinės jėgos, skerspjūvio skaičiuotinės stiprumo atspario pagal takumo ribą reikšmės.

3.3. Šlyties veikiamą kolonos sienelės plokštelę

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 šlyties veikiamos kolonos sienelės plokštelės mazgo komponentui. Šlyties veikiamos kolonos sienelės plokštelės skaičiuotinė laikomoji galia randama pagal išraišką:

$$F_{Rd,1} = \frac{V_{wc,Rd}}{\beta}.$$

Toliau nurodyti projektavimo metodai, jei kolonos sienelės liaunis atitinka sąlygą:

$$d / t_{cw} \leq 69\varepsilon;$$

Nuo f_y priklausantis koeficientas, randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, 2.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}.$$

Skaičiuotinė plastinė kolonos sienelės šlyjamoji galia, randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.7) išraišką:

$$V_{wc,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vc} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}.$$

Kolonos šlyjamasis plotas randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, 6.2.6(3) poskyrio d punkto išraišką:

$$A_{vc} = h_{cw} \cdot t_{cw}.$$

Kolonos juostos plokštelės skerspjūvio plotas lygus:

$$h_{cw} = h_c \cdot 2t_{cf}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_1 = \frac{F_{Ed,1}}{F_{Rd,1}} \cdot 100 \%.$$

Šlyties veikiamos kolonos sienelės standumo koeficientas k_1 randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z}.$$

Šlyties veikiamos kolonos sienelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 1 dalyje.

3.4. Gniuždymo veikiamą kolonos sienelės plokštelę

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 gniuždymo veikiamos kolonos sienelės plokštelės mazgo komponentui. Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės plokštelės laikomoji galia lygi mažesnei iš reikšmių:

$$F_{Rd,2} = \min(F_{c,wc,Rd,1}; F_{c,wc,Rd,2}).$$

Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės plokštelės skaičiuotinė laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.9) išraiškas papildytas sąstandos dedamąja:

$$F_{c,wc,Rd,1} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{sd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}},$$

$$F_{c,wc,Rd,1} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M01}} + \frac{\chi_{sd} \cdot A_{sd} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}.$$

Klupumo koeficientas pagal atitinkamą klupumo kreivę kolonos apatinei sąstandai randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.49) išraišką:

$$\chi_{sd} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}.$$

Bendrasis pradinis nesuvaržytas perkrypis randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.49) išraišką:

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right].$$

Sąlyginis liaunis randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.49) išraišką:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{sd} \cdot f_y}{N_{cr}}}.$$

Elemento kritinė jėga randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.69) išraišką:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sd}}{L_{cr}^2}.$$

Apatinės sąstandos klumpamasis ilgis randamas pagal išraišką:

$$L_{cr} = h_c - 2t_{fc}.$$

Kolonos apatinės sąstandos inercijos momentas lygus:

$$I_{sd} = \frac{2b_{sd} \cdot t_{sd}^3}{12}.$$

Kolonos apatinės sąstandos skerspjūvio plotas lygus:

$$A_{sd} = 2t_{sd} b_{sd}.$$

Kolonos apatinės sąstandos plotis lygus:

$$b_{sd} = \frac{b_c - t_{wc}}{2}.$$

Transformacijos parametras β randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 5.4 lentelėje pateikiamas išraiškas, o koeficientai ω_1 ir ω_2 randami pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.3 lentelėje pateikiamas išraiškas:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}.$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}.$$

Plokštelės klupumo pataisos koeficientas randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13a) ir (6.13b) išraiškas:

jei $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$, tai $\rho = 1,0$;

jei $\bar{\lambda}_p > 0,72$, tai $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,2}{\bar{\lambda}_p^2}$.

Plokštelės liaunis virintinio profiliuotųjų kolonoms randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13c) išraišką:

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_y}{E \cdot t_{wc}^2}}.$$

Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės efektyvusis plotis

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p.$$

Kolonos šlyjamasis plotas randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, 6.2.6(3) poskyrio d punkto išraišką:

$$A_{vc} = h_{wc} + t_{wc}.$$

Laisvasis kolonos sienelės aukštis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13c) išraišką:

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c).$$

Sijos juostos plokštelės skerspjūvio plotas lygus:

$$h_{wc} = h_c - 2t_{fc}.$$

Ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.12) išraišką:

$$s = \sqrt{2}a_c.$$

Ilgis, nustatomas pagal 45° sklaidą per galinę plokštelę:

$$s_p = t_{ep}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_2 = \frac{F_{Ed,2}}{F_{Rd,2}} \cdot 100\%.$$

Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės standumo koeficientas k_2 randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}^3}{d_c}.$$

Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 2 dalyje.

3.5. Tempimo veikiamą kolonos sienelės plokštelę

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės mazgo komponentui. Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės skaičiuotinė laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.15 išraiška papildyta sąstandos dedamąja:

$$F_{Rd,3} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{su} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Kolonos viršutinės sąstandos skerspjūvio plotas lygus:

$$A_{su} = 2b_{su} \cdot t_{su}.$$

Kolonos viršutinės sąstandos inercijos momentas lygus:

$$I_{su} = \frac{b_{su} \cdot t_{su}^3}{12}.$$

Kolonos viršutinės sąstandos plotis lygus:

$$b_{su} = \frac{b_c \cdot t_{wc}}{2}.$$

Pataisos komponentas šlities poveikiui randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.3 lentelėje pateikiamas išraiškas:

3.1 lentelė. Pataisos koeficientas ω , norint nustatyti šlities poveikį (LST EN 1993-1-8:2005)

Transformacijos parametras β	Pataisos koeficientas ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$

Transformacijos parametras β randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 5.4 lentelėje pateikiamas išraiškas, o koeficientai ω_1 ir ω_2 randami pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.3 lentelėje pateikiamas išraiškas:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}.$$

Kolono šlyjamasis plotas randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, 6.2.6(3) poskyrio d punkto išraišką:

$$A_{vc} = h_{wc} + t_{wc}.$$

Plokštelės klupumo pataisos koeficientas randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13a) ir (6.13b) išraiškas:

jei $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$, tai $\rho = 1,0$;

jei $\bar{\lambda}_p > 0,72$, tai $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,2}{\bar{\lambda}_p^2}.$

Plokštelės liaunis virintinio profiliuoties kolonomis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13c) išraišką:

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,t,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_y}{E \cdot t_{wc}^2}}.$$

Laisvasis kolonos sienelės aukštis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.13c) išraišką:

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c).$$

Sijos juostos plokštelės skerspjūvio plotas lygus:

$$h_{wc} = h_c - 2t_{fc}.$$

Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės efektyvusis plotis prilyginamas kolonos juostą atstojančio lygiaverčio tėjinio galinio elemento efektyviajam ilgiui:

$$b_{eff,t,wc} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}).$$

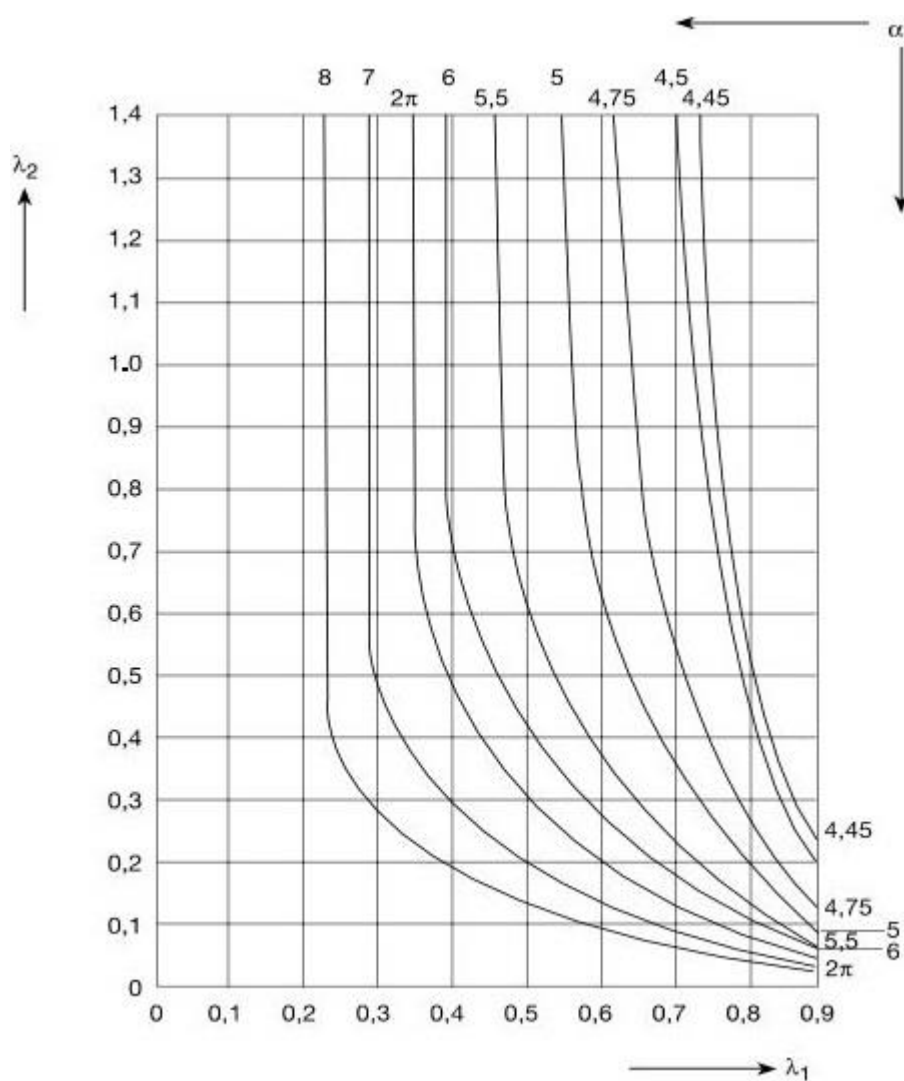
Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.5 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,cp} = 2\pi m.$$

Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.5 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,nc} = \alpha m.$$

Parametras α nustatomas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 paveikslėlyje pateikiamą grafiką:



3.2 pav. Grafikas pagal kurį nustatoma α reikšmės standintų kolonų juostoms

Parametras λ_1 , kuris reikalingas α reikšmei nustatyti, randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 paveikslėlyje pateikiamą išraišką:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}.$$

Parametras λ_2 , kuris reikalingas α reikšmei nustatyti, randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 paveikslėlyje pateikiamą išraišką:

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_3 = \frac{F_{Ed,1}}{F_{Rd,1}} \cdot 100 \%.$$

Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės koeficientas k_3 randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot l_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}.$$

Tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 3 dalyje.

3.6. Lenkimo veikiamos kolonos juosta

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 lenkimo veikiamos kolonos juostos mazgo komponentui. Lenkimo veikiamos kolonos juostos laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamas išraiškas. Lenkimo veikiamos kolonos juostos laikomoji galia lygi mažesnei iš reikšmių:

$$F_{Rd,A} = \min(F_{t,fc,1,Rd}; F_{t,fc,2,Rd}; F_{t,fc,3,Rd}).$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos pirmasis irties pobūdis (visiškas juostos plastiškumas) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{t,fc,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}.$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos antrasis irties pobūdis (varžto irtis, kai yra juostos plastiškumas) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{t,fc,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \cdot n_b \cdot F_{t,Rd}}{m+n}.$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos trečiasis irties pobūdis (varžto irtis) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{t,fc,3,Rd} = n_b \cdot F_{t,Rd}.$$

Pirmojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Antrojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Pirmojo irties pobūdžio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc}, \text{ bet turi tenkinti sąlygą } l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}.$$

Antrojo irties pobūdžio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc}.$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos apskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.5 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,cp} = 2\pi m.$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.5 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,nc} = \alpha_\lambda m.$$

Parametras λ_1 , kuris reikalingas α reikšmei nustatyti, randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 paveikslėlyje pateikiamą išraišką:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}.$$

Parametras λ_2 , kuris reikalingas α reikšmei nustatyti, randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 paveikslėlyje pateikiamą išraišką:

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_4 = \frac{F_{Ed,4}}{F_{Rd,4}} \cdot 100 \%.$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos standumo koeficientas k_4 randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot l_{eff,fc} \cdot t_{fc}^3}{m^3}.$$

kur $l_{eff,fc}$ mažiausias iš efektyviųjų ilgių:

$$l_{eff,fc} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}).$$

Lenkimo veikiamos kolonos juostos komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 4 dalyje.

3.7. Lenkimo veikiamą galinę plokštelę

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 lenkimo veikiamos galinės plokštelės mazgo komponentui. Lenkimo veikiamos galinės plokštelės laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamas išraiškas. Lenkimo veikiamos galinės plokštelės laikomoji galia lygi mažesnei iš reikšmių:

$$F_{Rd,5} = \min(F_{ep,1,Rd}; F_{ep,2,Rd}; F_{ep,3,Rd}).$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės pirmasis irties pobūdis (visiškas juostos plastiškumas) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{ep,1,Rd} = \frac{4M_{ep,1,Rd}}{m}.$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės antrasis irties pobūdis (varžto irtis, kai yra juostos plastiškumas) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{ep,2,Rd} = \frac{2M_{ep,2,Rd} + n \cdot n_b \cdot F_{t,Rd}}{m + n}.$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės trečiasis irties pobūdis (varžto irtis) randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{ep,3,Rd} = \eta_b \cdot F_{t,Rd}.$$

Pirmojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 l_{eff,1} \cdot t_{ep}^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Antrojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.2 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 l_{eff,2} \cdot t_{ep}^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Pirmojo irties pobūdžio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

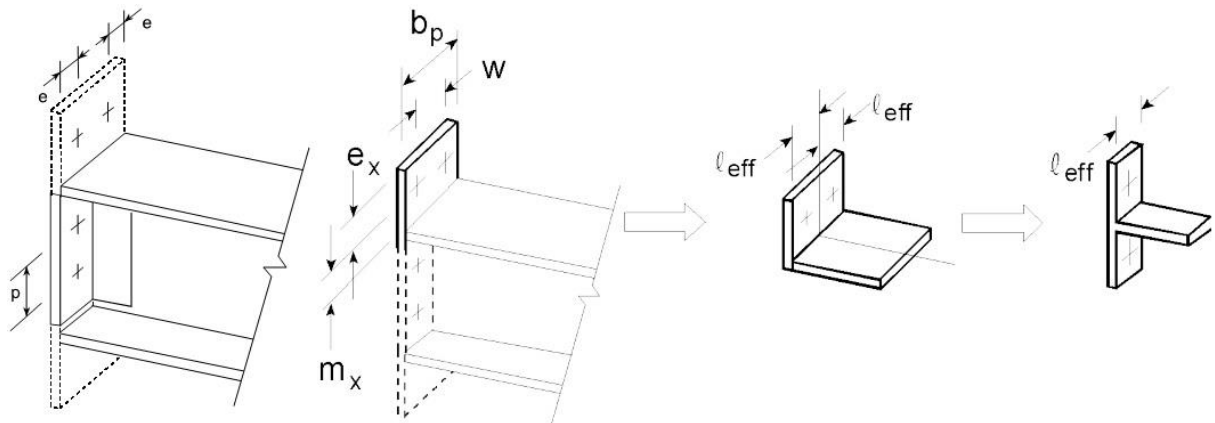
$$l_{eff,1} = l_{eff,nc}, \text{ bet turi tenkinti sąlygą } l_{eff,1} \leq l_{eff,ep}.$$

Antrojo irties pobūdžio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc}.$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,nc} = \min(4m_x + 1,25e_x; e + 2m_x + 0,625e_x; 0,5b_{ep}; 0,5w + 2m_x + 0,625e_x).$$



3.3 pav. Pailgintos galinės plokštelės modeliavimas atskirais tęjiniais galiniais elementais (pagal LST EN 1993-1-8:2005)

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės apskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m_x; \pi m_x + w; \pi m_x + 2e).$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_5 = \frac{F_{Ed,5}}{F_{Rd,5}} \cdot 100\%.$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės standumo koeficientas k_5 randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot l_{eff,ep} \cdot t_{ep}^3}{m_3}.$$

kur $l_{eff,ep}$ mažiausias iš efektyviųjų ilgių:

$$l_{eff,ep} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}).$$

Lenkimo veikiamos galinės plokštelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 5 dalyje.

3.8. Gniuždymo veikiamą siją juosta ir sienelė

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės mazgo komponentui. Gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės skaičiuotinė laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.21) išraišką:

$$F_{Rd,7} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}}.$$

Gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės skaičiuotinė lenkiamoji galia lygi mažesnei iš reikšmių:

$$M_{c,Rd} = \min(M_{y,c,Rd}; M_{y,v,Rd}).$$

Sumažintos gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės skaičiuotinės lenkiamosios galios reikšmė, atsižvelgiant į šlyties jėgas randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.30) išraišką:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4t_w} \right) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ bet } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}.$$

Skačiuotinės lenkiamosios galios pataisos koeficientas, atsižvelgiant į šlyties jėgas randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.29) išraišką:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2.$$

Skačiuotinė gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės plastinė šlyjamoji galia kai neveikia sukimas randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.18) išraišką:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vb} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}.$$

Skačiuotinė lenkiamoji galia apie pagrindinę ašį randama pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.13) išraišką:

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Sijos šlyjamasis plotas randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, 6.2.6(3) poskyrio d punkto išraišką:

$$A_{vb} = h_{wb} \cdot t_{wb}.$$

Sijos iš virintinio tuščiavidurio profiliuotio atsparumo momentas lygus:

$$W_b = \frac{2I_b}{h_b}.$$

Sijos iš virintinio tuščiavidurio profiliuotio inercijos momentas lygus:

$$I_b = 2 \left(I_{fb} + A_{fb} \left(\frac{t_{fb}}{2} + \frac{h_{wb}}{2} \right)^2 \right) + 2I_{wb}.$$

Sijos juostos plokštelės inercijos momentas lygus:

$$I_f = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12}.$$

Sijos sienelės plokštelės inercijos momentas lygus:

$$I_w = \frac{h_w \cdot t_w^3}{12}.$$

Sijos juostos plokštelės skerspjūvio plotas lygus:

$$A_f = t_f \cdot b_f.$$

Sijos iš virintinio tuščiavidurio profiliuotio, su sienelei lygiagrečia apkrova sienelės skerspjūvio plotas randama pagal LST EN 1993-1-1:2005, 6.2.6(3) poskyrio d punkto išraišką:

$$A_{wb} = 2h_{wb} \cdot t_{wb}.$$

Gniuždymo jėga veikianti sijos juostą ir sienelę lygi:

$$F_{Ed,7} = \frac{M_{Ed}}{h_b - t_f}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_7 = \frac{F_{Ed,7}}{F_{Rd,7}} \cdot 100\%.$$

Gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės standumo koeficientas k_7 turi būti prilyginamas begalybei pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje esančią pastabą. Skaičiuojant sukamąjį standį S_j , į šį komponentą nereikia atsižvelgti.

$$k_7 = \infty.$$

Gniuždymo veikiamos sijos juostos ir sienelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 7 dalyje.

3.9. Tempimo veikiamas sijos sienelė

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 tempimo veikiamos sijos sienelės mazgo komponentui. Tempimo veikiamos sijos sienelės skaičiuotinė laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, (6.22) išraišką:

$$F_{Rd,10} = \frac{b_{eff,l,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}.$$

Tempimo veikiamos sijos sienelės efektyvusis plotis prilyginamas lenkiamą galinę plokštelę atstojančio lygiaverčio tėjinio galinio elemento efektyviajam ilgiui:

$$b_{eff,t,wb} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}).$$

Tempimo veikiamos sijos sienelės neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,nc} = \min(4m_x + 1,25e_x; e + 2m_x + 0,625e_x; 0,5b_p; 0,5w + 2m_x + 0,625e_x).$$

Tempimo veikiamos sijos sienelės apskritiminio modelio efektyvusis ilgis randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.6 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m_x; \pi m_x + w; \pi m_x + 2e).$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_8 = \frac{F_{Ed,B}}{F_{Rd,B}} \cdot 100\%.$$

Tempimo veikiamos sijos sienelės standumo koeficientas k_8 turi būti prilyginamas begalybei pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje esančią pastabą. Skaičiuojant sukamąjį standį S_j , į šį komponentą nereikia atsižvelgti.

$$k_8 = \infty.$$

Tempimo veikiamos sijos sienelės komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 8 dalyje.

3.10. Tempimo veikiami varžtai

Šiame poskyryje pateikiamas skaičiavimo algoritmas pagal LST EN 1993-1-8:2005 tempimo veikiamų varžtų mazgo komponentui. Varžtų eilės laikomoji galia turi tenkinti LST EN 1993-1-8:2005 E kategorijos įtemptosios jungties kriterijus, pateikiamus 3.2 lentelėje. Varžtų eilės laikomoji galia lygi:

$$F_{Rd,10} = n_{bolt} \cdot \min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd}).$$

Vieno varžto galvutės ir veržlės praspaudžiamoji kerpamoji laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 3.4 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}.$$

Čia:

d_m – mažesnysis atstumas tarp varžto galvutės arba veržlės šoninių briaunų ir plokštumų;

t_p – po varžtu ar veržle esančios ploniausios plokštelės storis;

Vieno varžto tempiamoji laikomoji galia randama pagal LST EN 1993-1-8:2005, 3.4 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}.$$

Komponento išnaudojimas randamas pagal išraišką:

$$SF_{10} = \frac{F_{Ed,10}}{F_{Rd,10}} \cdot 100\%.$$

Tempimo veikiamų varžtų standumo koeficientas k_{10} randamas pagal LST EN 1993-1-8:2005, 6.11 lentelėje pateikiamą išraišką:

$$k_{10} = 1,6 \cdot \frac{A_s}{L_b}.$$

Varžto pailgėjimo ilgis, kuris lygus aprėpiamajam ilgiui (bendram elementų ir poveržlių storiui) pridedant pusę varžto galvutės ir veržlės aukščių sumos:

$$L_b = t_{ep} + t_{fc} + 2 \cdot h_{washer} + 0,5 \cdot (h_{bolt} + h_{nut}).$$

Čia:

h_{bolt} – varžto galvutės aukštis;

h_{washer} – poveržlės storis;

h_{nut} – veržlės storis;

Tempimo veikiamų varžtų komponento skaičiavimai nagrinėjamam mazgui *Mathcad* programinės įrangos paketu pateikiami priedo 10 dalyje.

3.11. Mazgo stiprumas

Tiriamo varžtinio mazgo su galine plokštele plastinė mazgo laikomoji galia:

$$M_{j,Rd} = z \cdot F_{Rd,j} = 0,26 \cdot 705,6 = 183,5 \text{ kNm}.$$

Čia

$F_{Rd,j}$ – silpniausio komponento laikomoji galia.

Tiriamo varžtinio mazgo su galine plokštele tampri mazgo laikomoji galia:

$$\frac{2}{3} M_{j,Rd} = \frac{2}{3} \cdot 183,5 = 122,3 \text{ kNm}.$$

3.12. Mazgo sukamasis standis

Mazgo pradinis sukamasis standis randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.27) išraišką:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} \right)}.$$

Čia

μ – standžio santykis, kuris pradiniam sukamajam standžiui lygus $\mu = 1,0$.

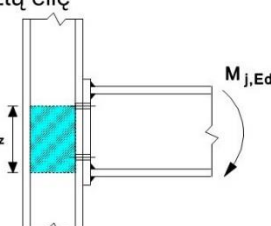
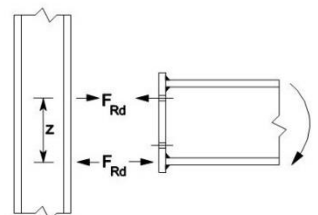
Mazgo sukamasis standis randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.27) išraišką:

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} \right)}.$$

Čia:

k_i – pagrindinio mazgo komponento i standumo koeficientas;

z – petys, kuris nustatomas pagal 3.4 paveikslą;

Jungties tipas	Gniuždymo centras	Petys	Jėgų pasiskirstymas
c) varžtinė jungtis su galine plokštele, turinčia tik vieną tempimo veikiamą varžtų eilę 	Sutampa su gniuždomosios juostos centru	Atstumas nuo gniuždymo centro iki tempimo veikiamos varžtų eilės	

3.4 pav. Peties nustatymo schema

Standžio santykis randamas pagal LST EN 1993-1-1:2007, (6.28b) išraišką:

$$\mu = \left(1,5 \cdot M_{j,Ed} / M_{j,Rd} \right)^{\psi} = \left(1,5 \cdot 281,63 / 283,5 \right)^{2,7} = 2,94.$$

Čia

ψ – koeficientas randamas LST EN 1993-1-8:2005, 6.8 lentelėje pagal mazgo tipą.

$$S_j = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 0,26^2}{2,94 \left(\frac{1}{7,5} + \frac{1}{5,167} + \frac{1}{7,749} + \frac{1}{29,743} + \frac{1}{151,13} + \frac{1}{5,227} \right) \cdot 10^{-3}} = 9766 \text{ kNm} / \text{rad}.$$

3.13. Skyriaus išvados

Apskaičiavus mazgo stiprumą nustatyta, kad silpniausias mazgo komponentas yra tempimo veikiami varžtai, atlaikantys 705,6 kN jėgą, kuri gauta iš varžtų tempiamosios laikomosios galios išraiškos.

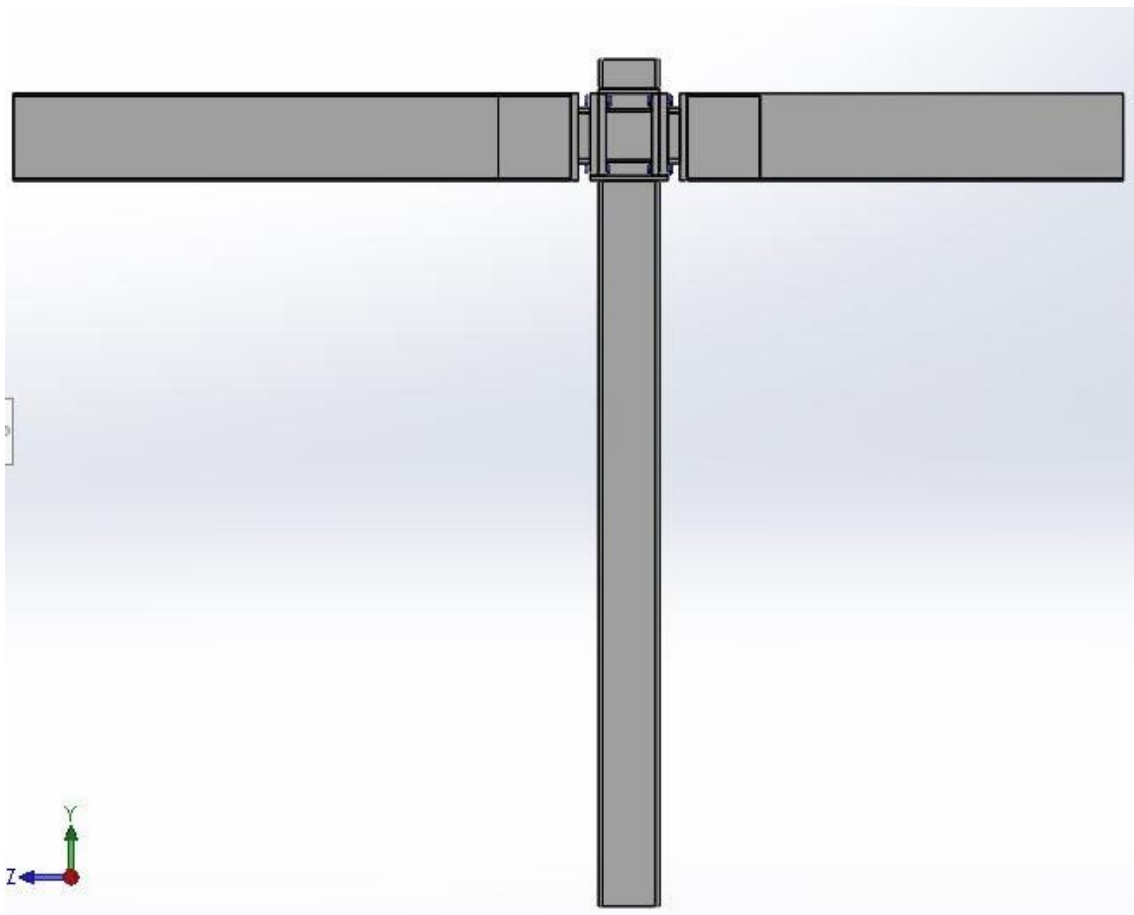
Todėl viso mazgo stiprumą reikia vertinti pagal šią jėgą, kurią atlaiko tempimo veikiami varžtai. Mazge plastinio momento riba yra 183,5 kNm, o tampraus momento riba – 122,3 kNm. Tai pat nustatyta, kad mazgo standumas yra 9766 kNm/rad.

4. TYRIMAS SKAITINIAIS METODAIS

4.1. Kompiuterinio modeliavimo metodika

Naudojant *Solidworks* programinę įrangą sumodeliuotas apatinė rėmo dalis, matomo 2.1 paveiksle. Modeliuojamas rėmas erdviniais elementais, taip atkartojant tikslią realių konstrukcijų geometriją.

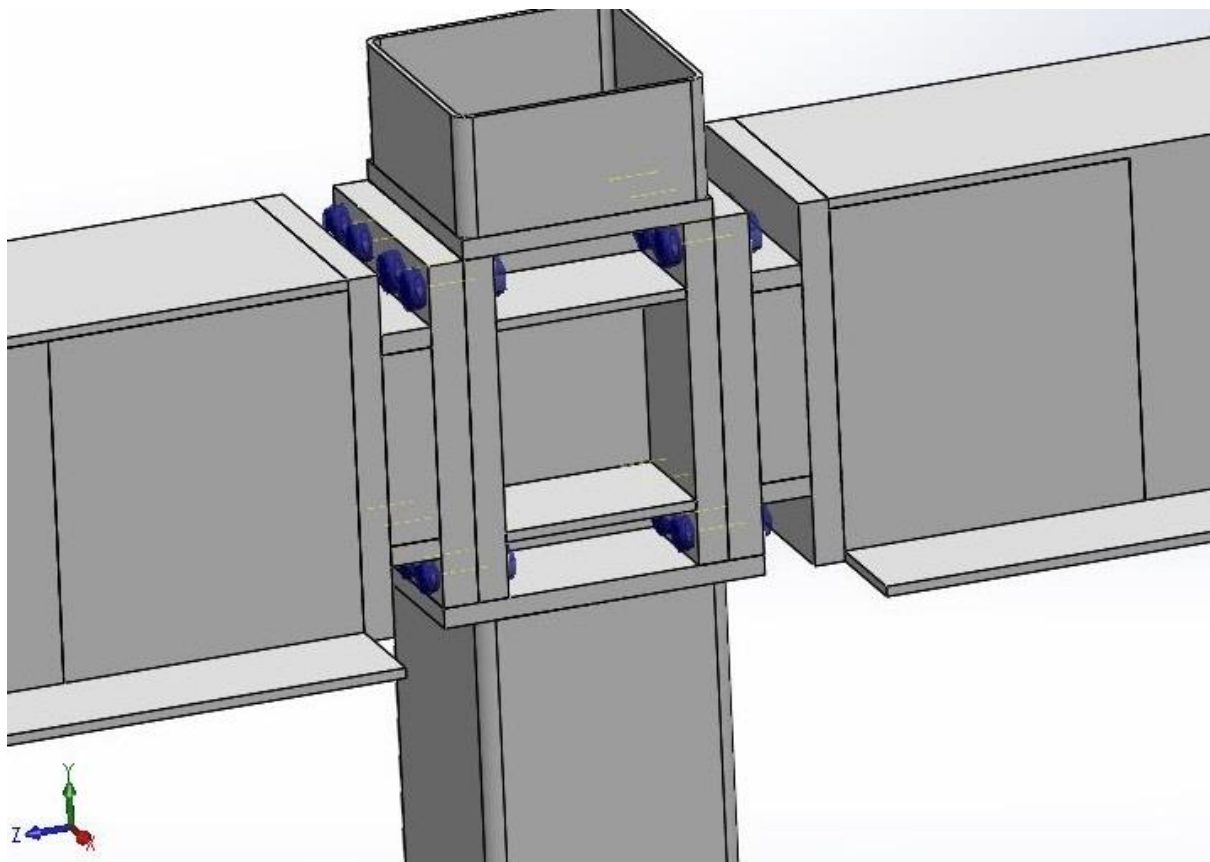
Pagal pradinį tyrimo duomenis matyti, kad viršutinės rėmo dalies kolonoje dėl lygių momentų A mazgo sijoje ir gembėje momentai ir skersinės jėgos beveik visiškai identiškos. Dėl to skaitinio tyrimo modelyje, siekiant supaprastinti skaičiavimus nemodeliuojama viršutinė rėmo dalis o tik perduodamos įrašos į mazgą. Sijos gale pridamos simetrijos sąlygos. *Solidworks* skaičiuojamosios schemos vaizdas matomas 4.1 paveiksle.



4.1 pav. *Solidworks* skaičiuojamasis modelis

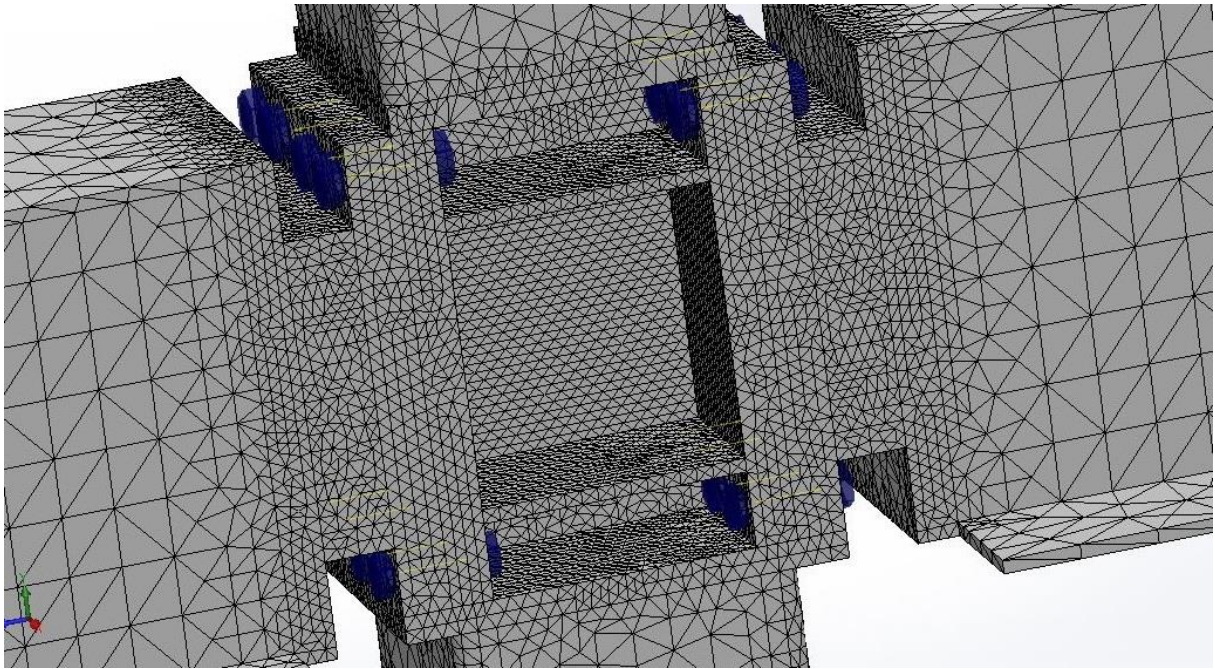
Apkrovus nagrinėjamą konstrukciją ir aprašius įtvirtinimo ir simetrijos sąlygas toliau aprašomi konstrukcijų kontaktai. Nurodoma, kad sija ir jai priklausantys komponentai, kolona ir jai priklausantys komponentai bei gembė ir jai priklausantys komponentai būtų laikomi kaip vienalyčiai objektai. Tarpusavyje šie komponentai aprašomi kaip vienas kitam perduodantys apkrovas tik per sąlyčio taškus. Varžtai modeliuojami kaip virtualūs komponentai su išankstiniu

įtempimu ir realiomis varžtų charakteristikomis. Mazgo parengto skaičiavimams vaizdas matomas 4.2 paveikslėlyje.



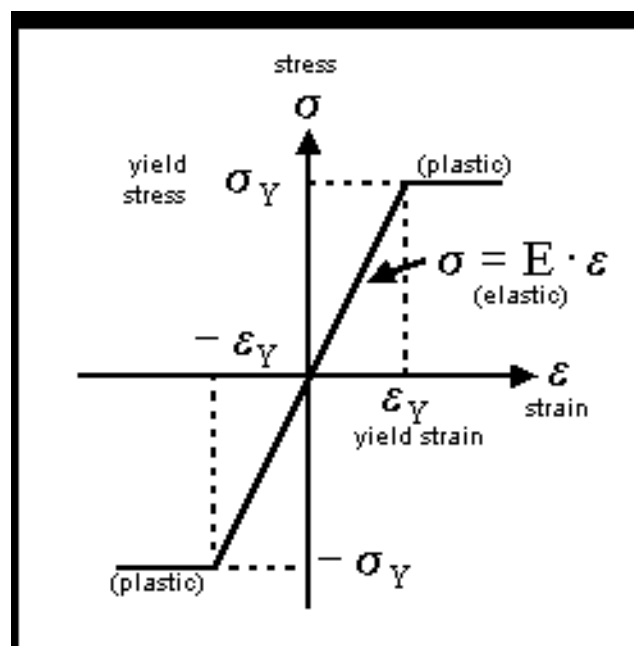
4.2 pav. Mazgo vaizdas

Parengus mazgą skaičiavimams ir siekiant kuo tikslesnių rezultatų, mazgo komponentų baigtiniu elementų erdvinis tinklas sutankinamas. Sutankintas baigtiniu elementų tinklas leidžia geriau identifikuoti įtempių koncentracijos taškus. Baigtinių elementų tinklas matomas 4.3 paveiksle.



4.3 pav. Modelio tūrinis baigtinių elementų tinklas

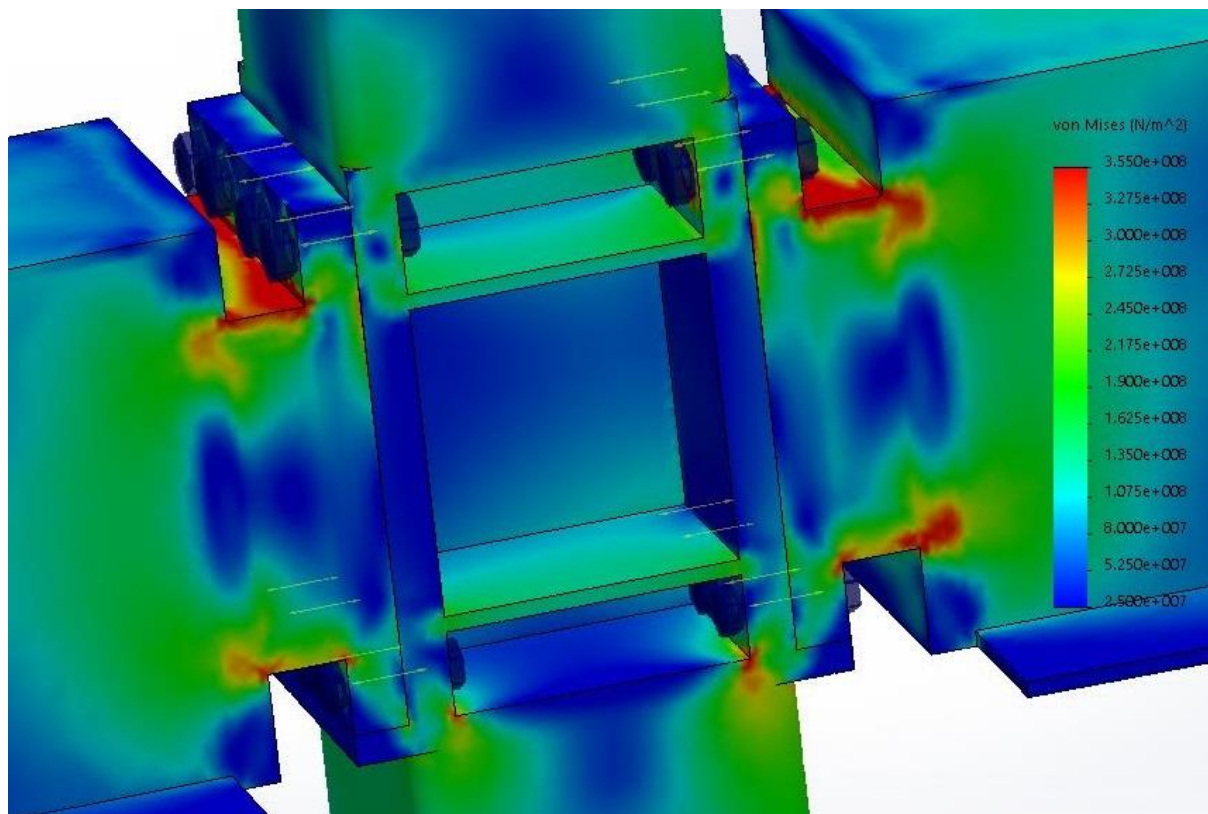
Siekiant papildomai ištirti skaičiavimų metodų įtaką gaunamiems rezultatams skaičiavimai atliekami tiek tiesine analine (idealiai tampri medžiaga, galioja Hugo dėsnis net ir viršijus elementų takumo ribą), tiek netiesine (medžiaga tampri iki takumo ribos, viršijus takumo ribą idealus plastiškumas). Idealiai tamprios-plastinės medžiagos įtempių deformacijų diagrama matoma 4.4 paveiksle. Tiek tiesiniai, tiek netiesiniai analizei naudojamas 100% identiškos kraštinės sąlygos, apkrovos ir baigtinių elementų erdvinis tinklas. Visi toliau šiame skyriuje pateikiami rezultatai dėl didesnio tikslumo imami pateikiami iš netiesinio skaičiavimo duomenų.



4.4 pav. Idealiai tamprios plastinės medžiagos įtempių deformacijų diagrama

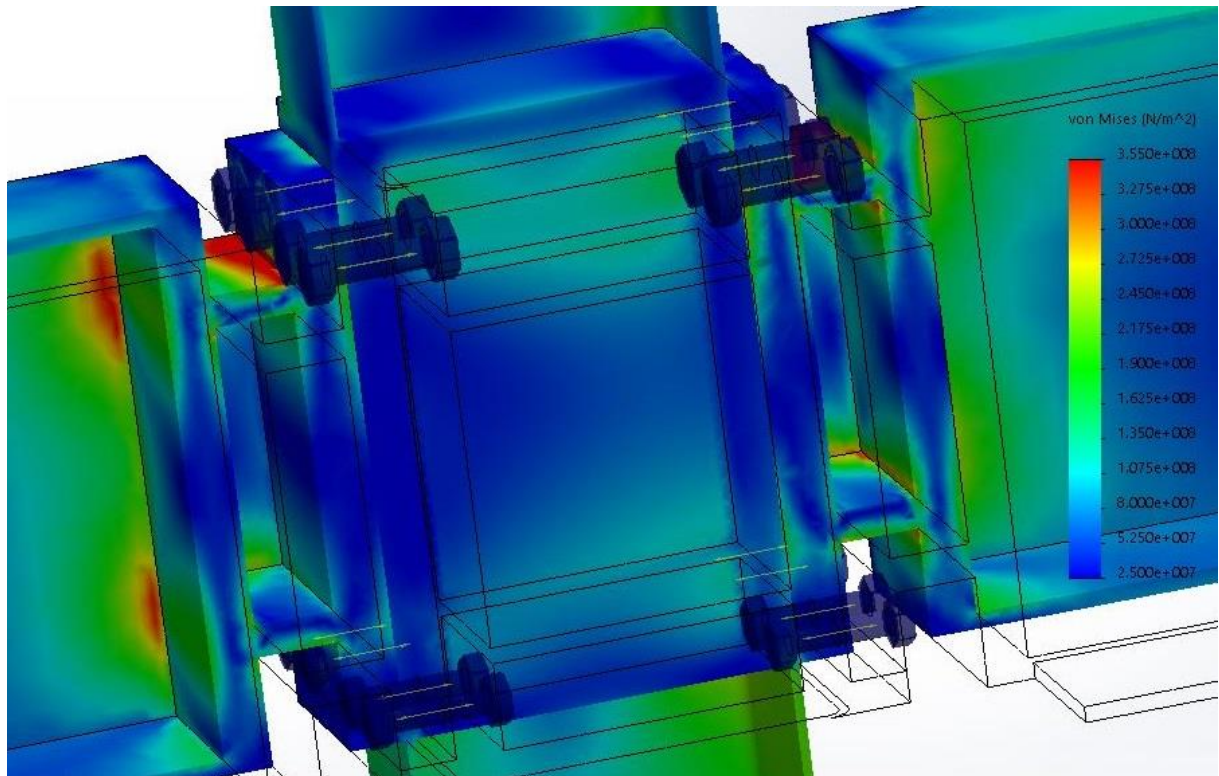
4.2. Kompiuterinio modeliavimo skaičiavimų rezultatai

Paveiksle 4.5 pateikiami Von Mises išorinio paviršiaus įtempių laukai esant maksimaliai apkrovai. Iš įtempių pasiskirstymo laukų matyti, kad tam tikrose mazgo elementų zonose (pažymėta raudona spalva) pasiekiami takumo įtempiai.



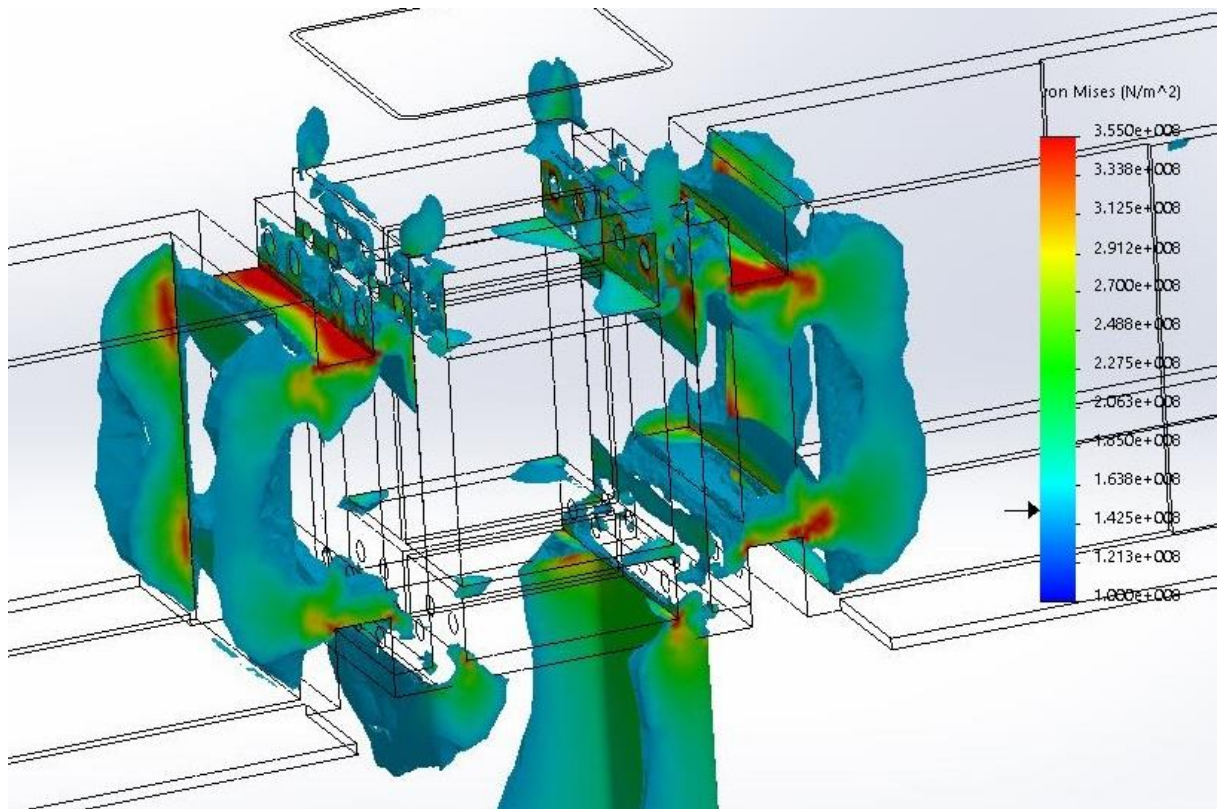
4.5 pav. Įtempių laukų pasiskirstymas elementų paviršiuje

Paveiksle 4.6 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai, išilginio rėmo pjūvio plokštumoje ir mazgo elementų vidiniame paviršiuje esant maksimaliai apkrovai. Iš paveikslo matyti, kad nors ir dėl išorinės apkrovos atsiranda takumo zonos, jos neapima viso skerspjūvio, tai yra pasireiškia tik mazgo komponentų išoriniuose sluoksniuose.



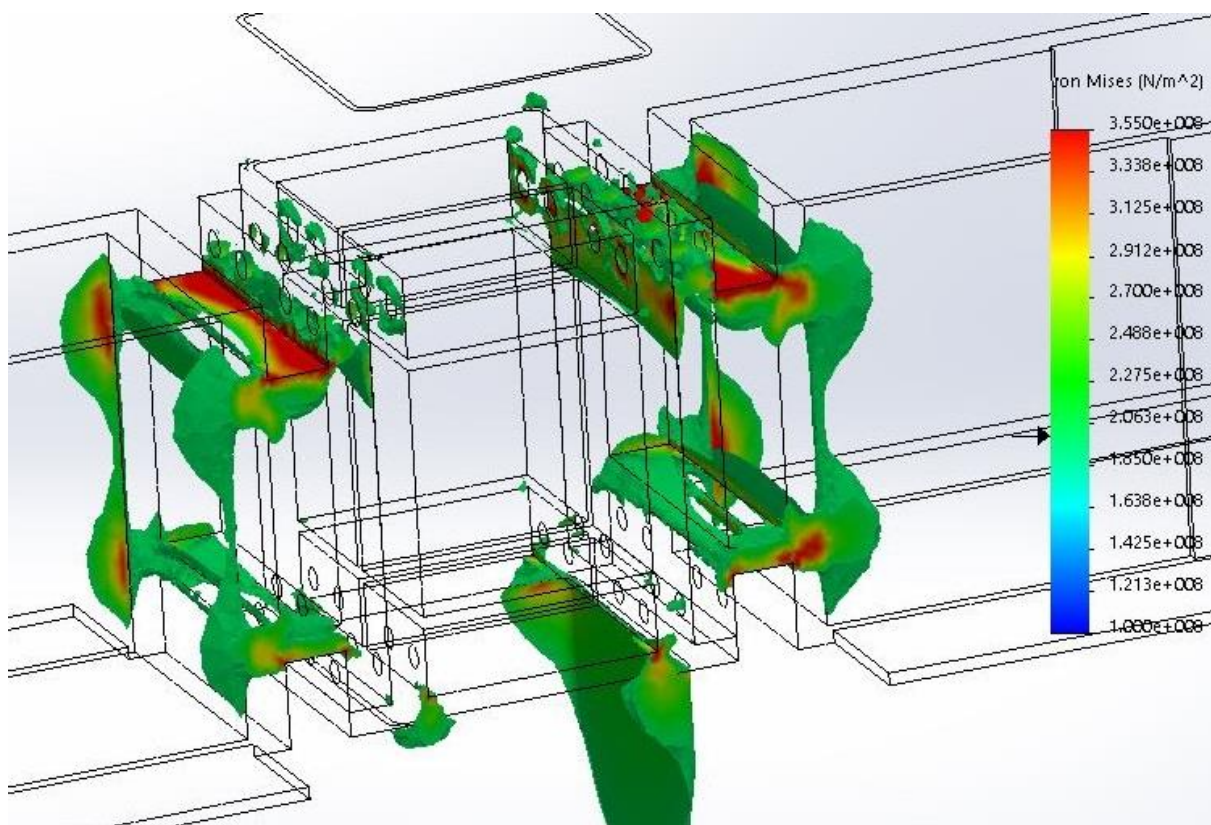
4.6 pav. Įtempių laukų pasiskirstymas išilginiame pjūvyje

Paveiksle 4.7 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose skerspjūvio zonose, kuriose jie viršija 150MPa esant maksimaliai apkrovai. Iš šio paveikslo matyti, kad kolonoje turime gana didelį lenkimo momentą (vienoje kolonos pusėje ženkliai didesnė zona, kurioje įtempiai viršija 150MPa negu kitoje), nors pagal statinius skaičiavimus strypiniame modelyje su standžiu mazgu jie buvo praktiškai lygūs.



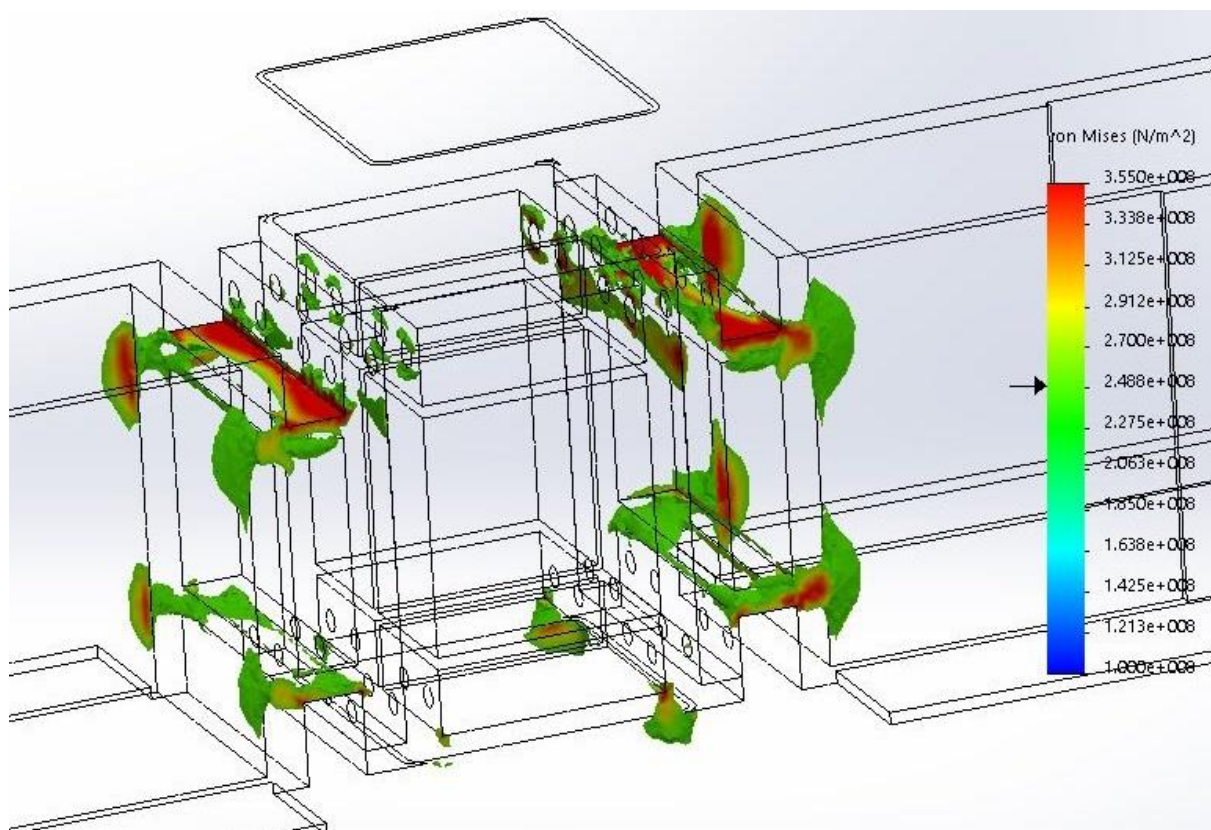
4.7 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 150MPa

Paveiksle 4.8 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose skerspjūvio zonose, kuriose jie viršija 200MPa esant maksimaliai apkrovai. Iš šio paveikslo matyti, kad tik labai nedideliame mazgo tūryje metalo išnaudojimas didesnis negu 50% takumo ribos. Iš įtempių tūrių dydžio skirtumo karėje ir dešinėje mazgo pusėje matyti, kad kolonos-gembės mazgo momentas yra ženkliai didesnis negu kolonos-sijos momentas.



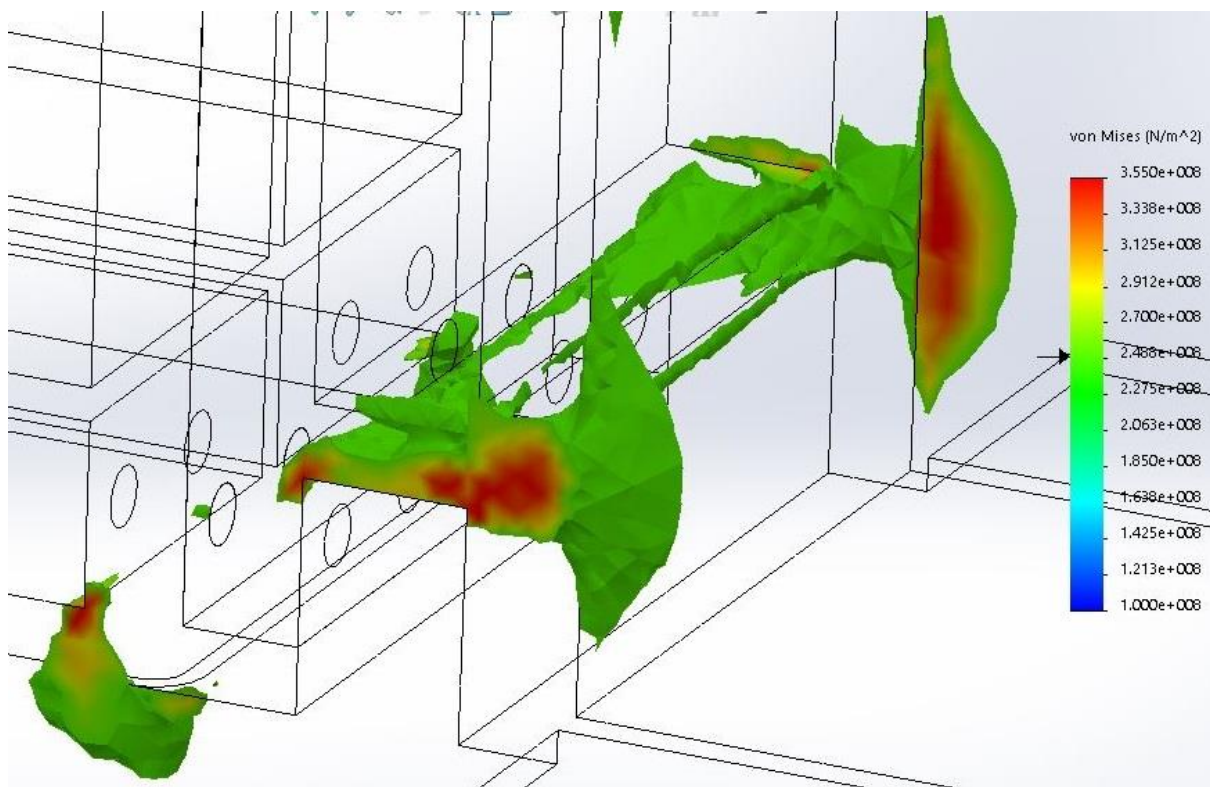
4.8 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 200MPa

Paveiksle 4.9 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose skerspjūvio zonose, kuriose jie viršija 250MPa esant maksimaliai apkrovai.



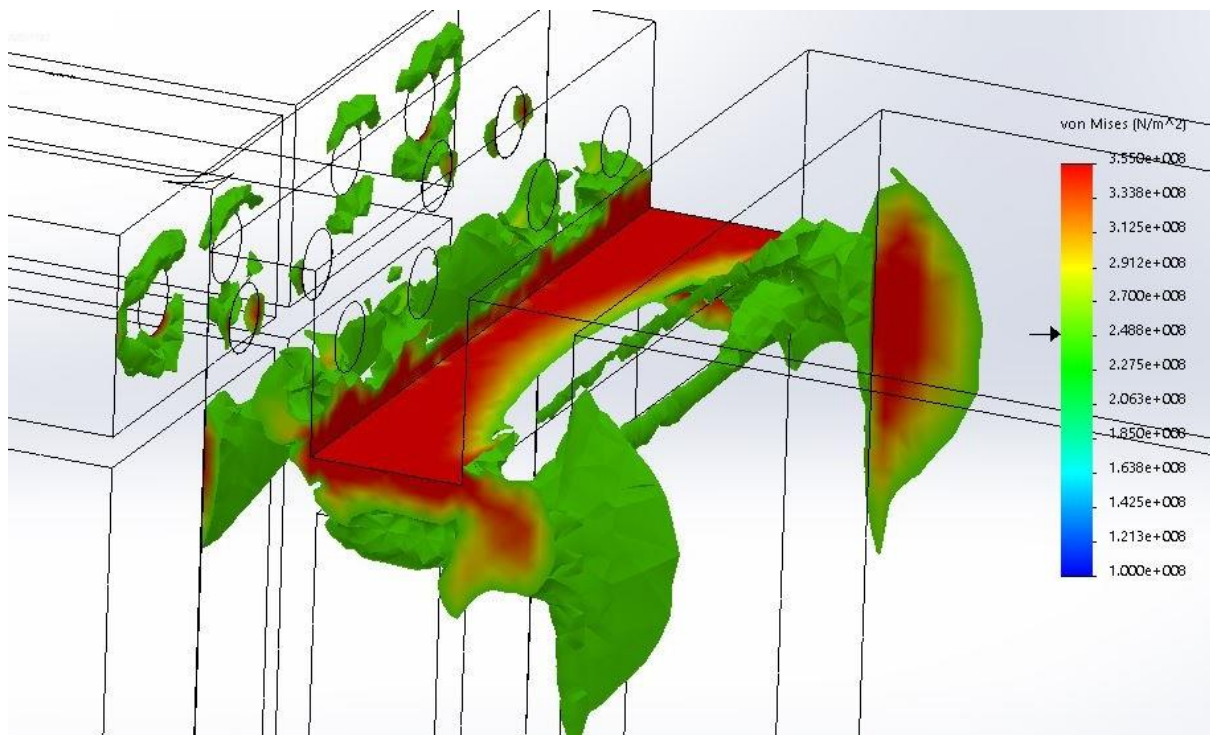
4.9 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa

Paveiksle 4.10 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose sijos apatinės juostos zonose, kuriose jie viršija 250MPa esant maksimaliai apkrovai.



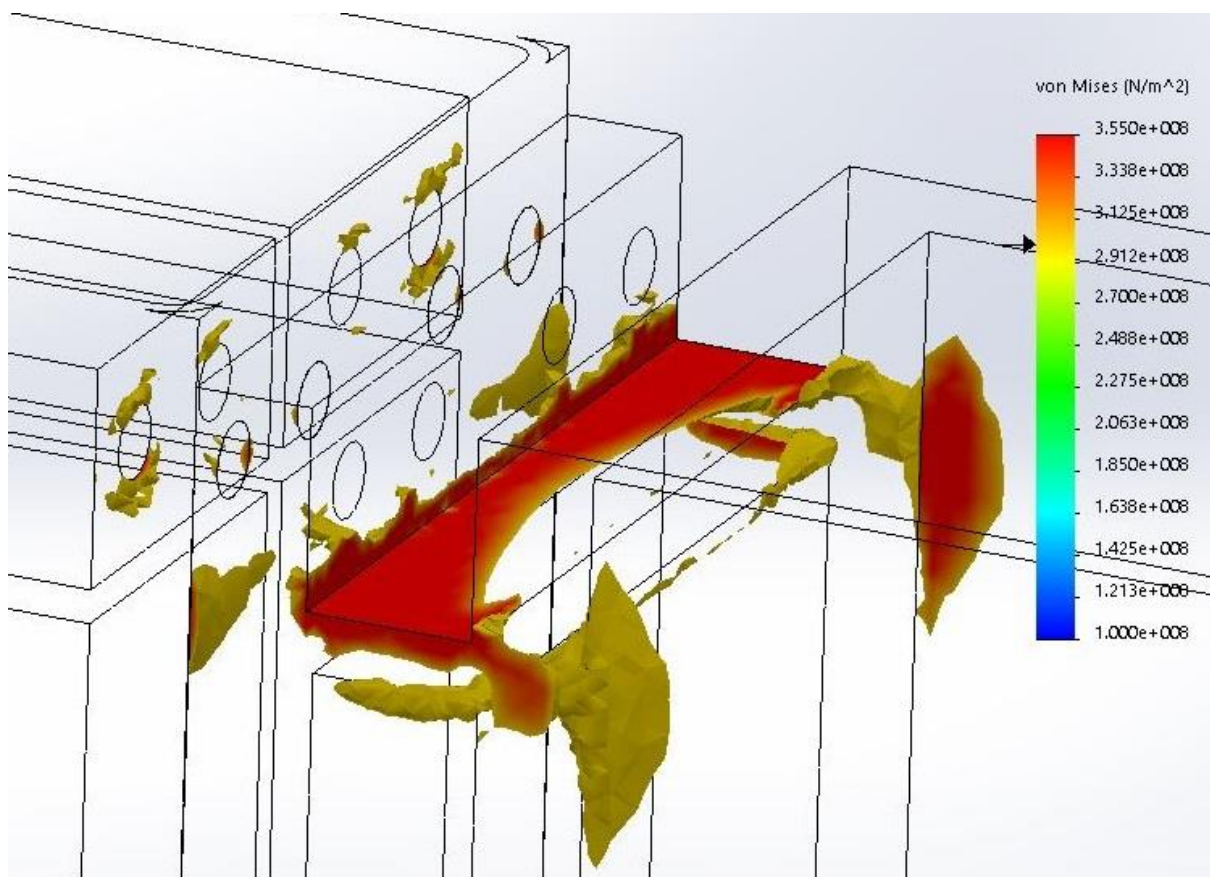
4.10 pav. Zonos apatinėje sijos juostoje, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa

Paveiksle 4.11 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose sijos viršutinės juostos zonose, kuriose jie viršija 250MPa esant maksimaliai apkrovai.



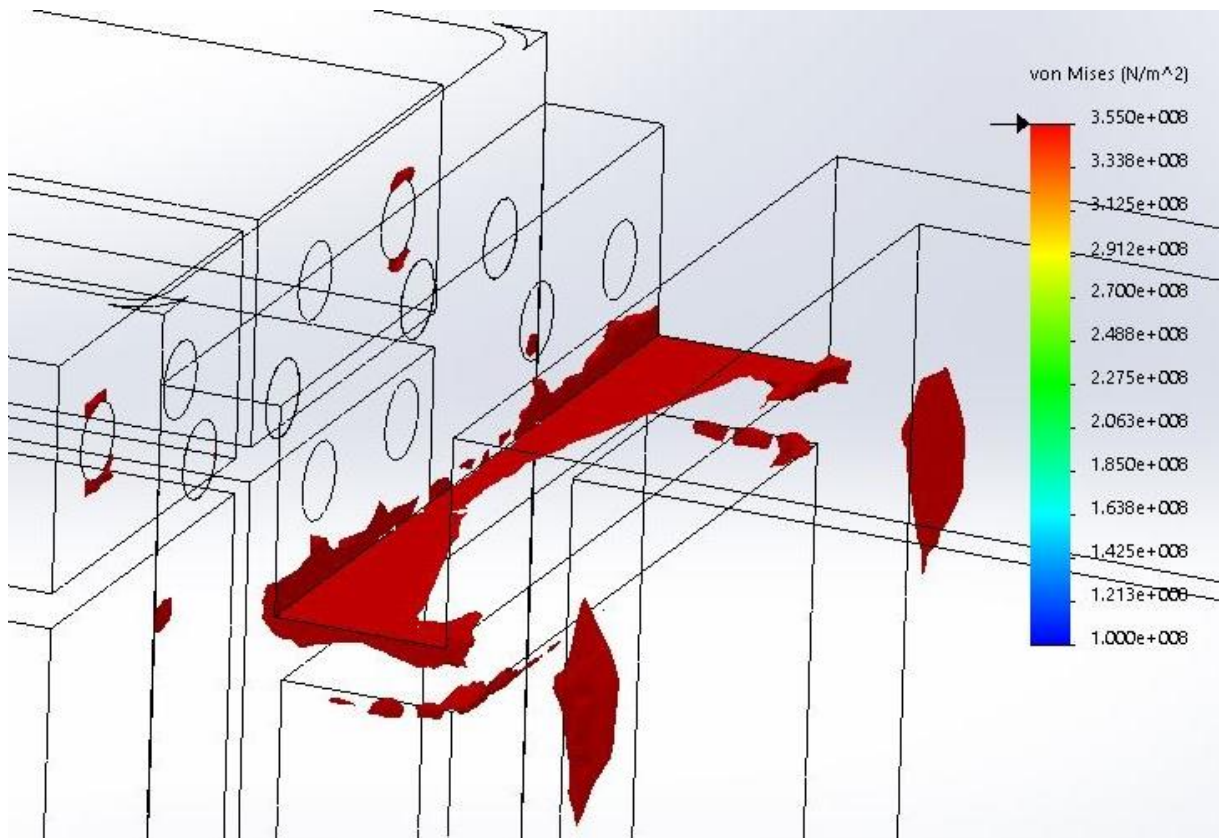
4.11 pav. Zonos, viršutinėje sijos juostoje, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 250MPa

Paveiksle 4.12 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose skerspjūvio zonose, kuriose jie viršija 300MPa esant maksimaliai apkrovai.



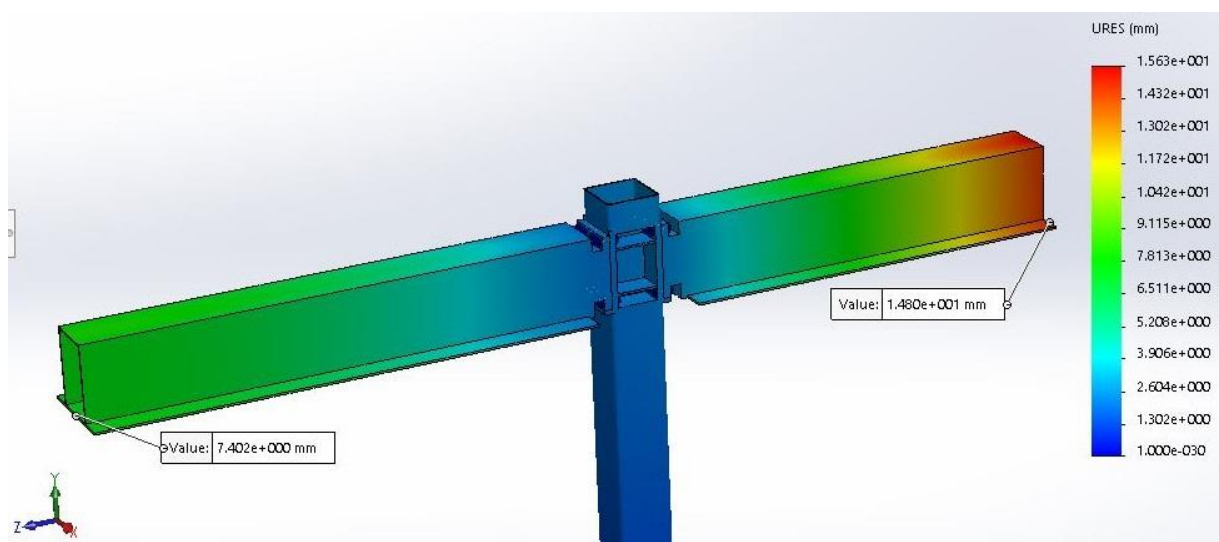
4.12 pav. Zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 300MPa

Paveiksle 4.13 pateikiami Von Mises įtempių pasiskirstymo laukai tik tose skerspjūvio zonose, kuriose jie viršija 355MPa esant maksimaliai apkrovai. Šiose zonose, plienas iš tamprios būsenos perėjo į plastinę. Didėjant apkrovai įtempiai šiose zonose nebedidėja o tik persiskirstyto į aplinkinį metalo tūrį.

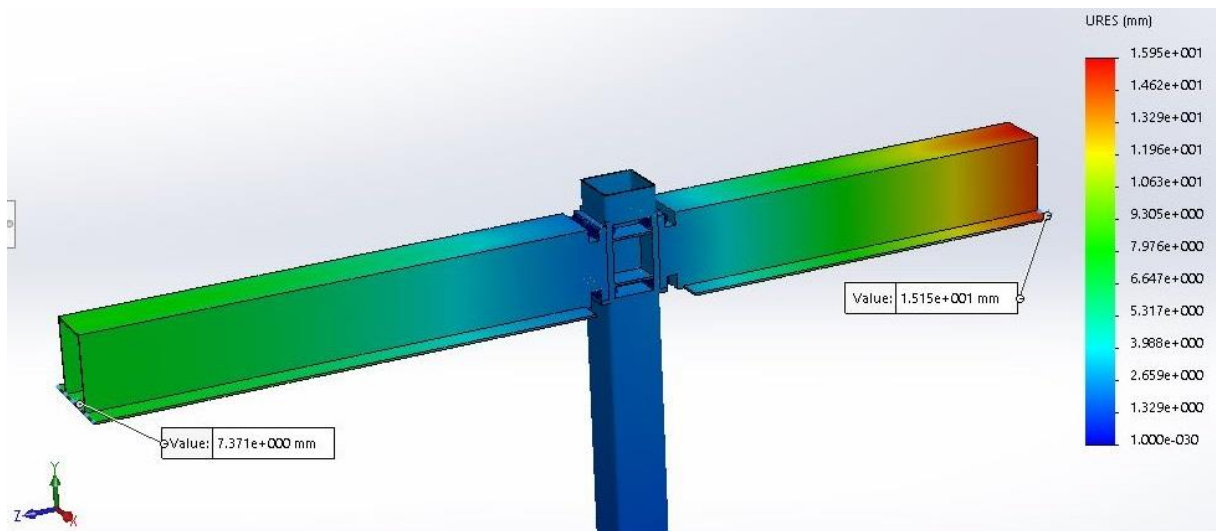


4.13 pav. Plastinės zonos, kuriose įtempiai yra didesnis kaip 355MPa

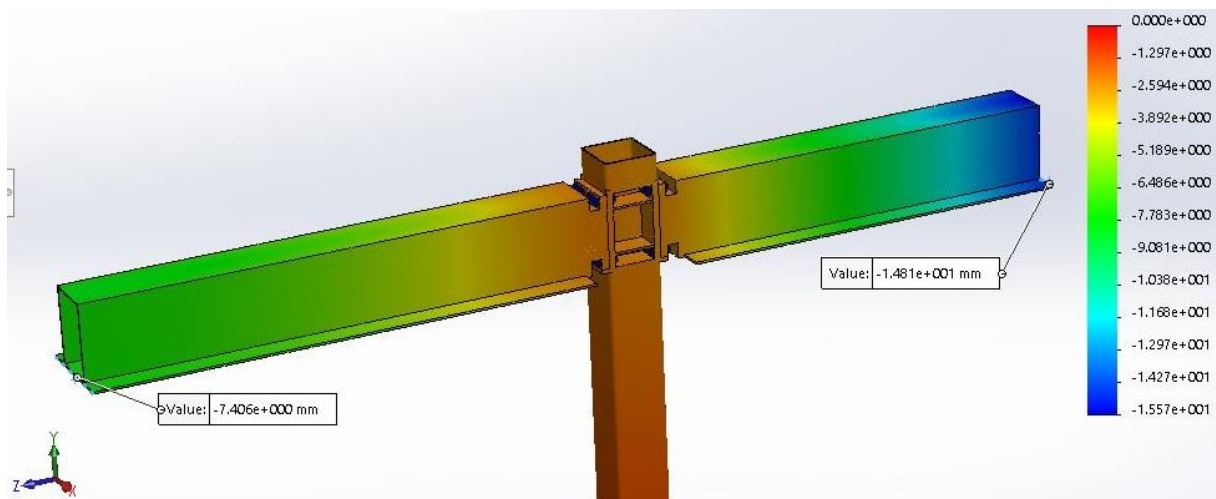
4.14, 4.15, 4.16 ir 4.17 paveiksluose pateikiami suminiai vektoriniai poslinkiai ir vektoriniai poslinkiai U_y (vertikalia) kryptimi tiesinės ir netiesinės analizės. Iš šių paveikslų matyti, kad poslinkiai praktiškai identiški. Skirtumus lemia 4.13 paveiksle matomos plastinės zonos, dėl jų netiesinėje analizėje nežymiai padidėja gembės poslinkis.



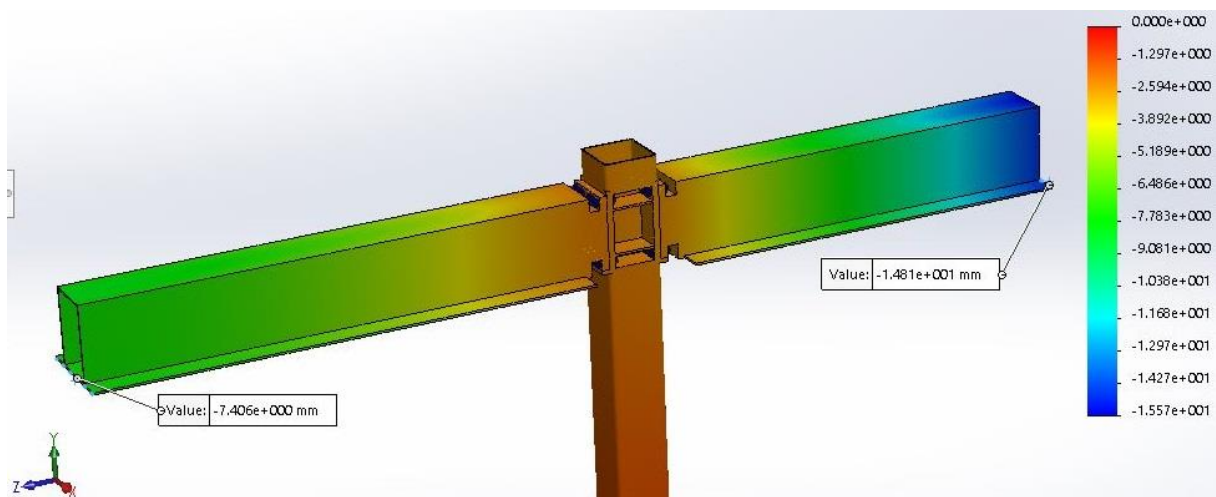
4.14 pav. Suminis vektorinis poslinkis $U_x U_y U_z$ kryptimi (tiesinė analizė)



4.15 pav. Suminis vektorinis poslinkis $U_x U_y U_z$ kryptimi (netiesinė analizė)

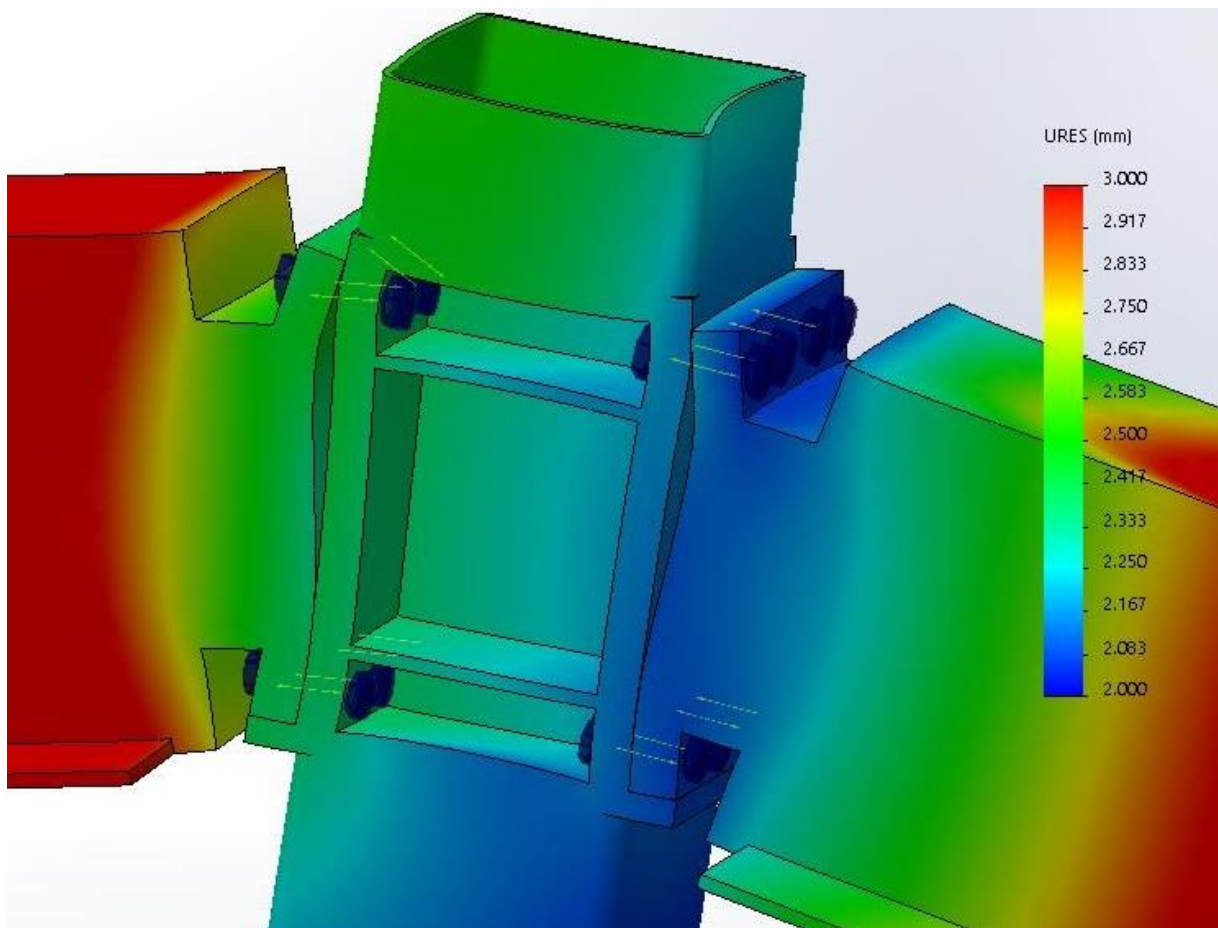


4.16 pav. Vektorinis poslinkis U_y kryptimi (tiesinė analizė)



4.17 pav. Vektorinis poslinkis U_y kryptimi (netiesinė analizė)

Paveiksle 4.18 pateikiamos 50 kartų padidintos mazgo deformacijos. Iš šio paveikslo matyti, kad didžiausią įtaką mazgo pasisukimui turi lenkiama sijos galinė plokštelė ir lenkiama kolonos juosta. Gniuždomi ir tempiami elementai turi ženkliai mažesnę įtaką mazgo standžiui.



4.18 pav. 50 kartų padidintos deformacijos ties mazgu

4.3. Skyriaus išvados

Kompiuterinis modeliavimas parodė, kad parinkta mazgo geometrija yra teisinga, mazgas atlaiko veikiančias išorines apkrovas. Nors ir matomos plastinės zonos, jos praktiškai neturi įtakos mazgo elgsenai.

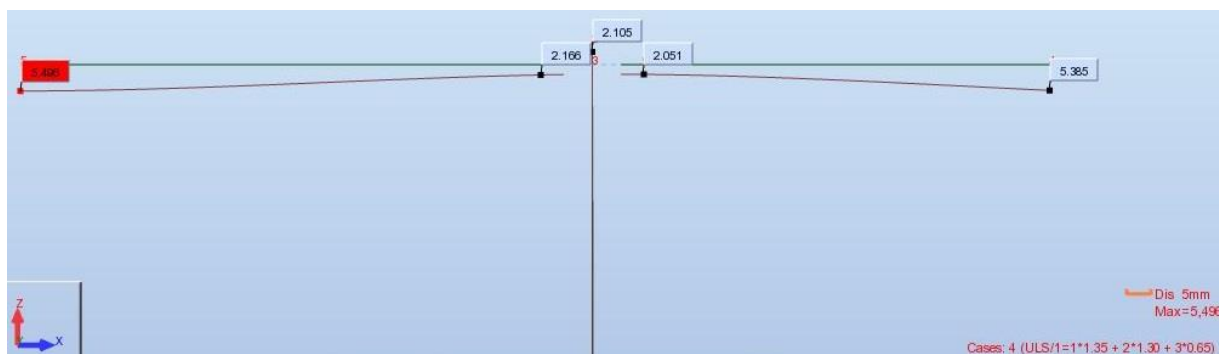
Tiesinės ir netiesinės analizės rezultatai labai panašūs. Skirtumus lemia, skirtingos medžiagų idealizavimas. Tiesinėje analizėje naudotas tamprios medžiagos modelis neįvertino plastinių zonų, dėl ko gauta šiek tiek standesnė konstrukcija. Netiesinėje analizėje naudojant tamprios-plastinės medžiagos modelį plastinėse zonose įtempiai pasiekus 355MPa persiskirstė į aplinkinį plieno tūrį, kai tuo metu deformacijos plastinėse zonose auga ribojamos tik šalia esančios tamprios medžiagos, kurioje dar galioja Huko dėsnis. Dėl šių priežasčių bendros elementų deformacijos netiesinėje analizėje neženkiai didesnės.

Dėl labai mažos plastinių deformacijų įtakos, ne visada racionalu naudoti netiesinę analizę, kuriai nepritaikomas superpozicijos principas – kiekvienas derinys skaičiuojamas atskirai, kai tiesinėje analizėje skaičiuojamos įrašos tik kiekvienam apkrovos tipui ir po to sudedamos padauginus iš apkrovos derinio koeficientų.

5. REZULTATŲ PALYGINIMAS

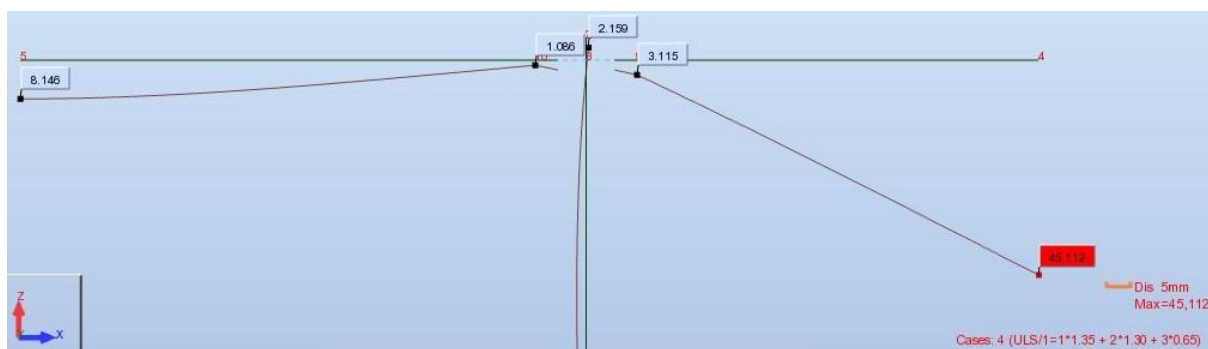
Naudojant *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* kompiuterinę programą atliekama lyginamoji analizė pradinio rėmo (su standžiais mazgais), rėmo su mazgų standumais gautai iš analitinių skaičiavimų bei rėmo su poslinkiais kurie atitinka skaitinių tyrimų rezultatus (mazgų standumai šiai schemai gaunami priartėjimo būdu, rankiniu būdu keičiant mazgo spyruoklės standį).

Paveiksle 5.1 pateikiami rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su standžiais mazgais.



5.1 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su standžiais mazgais

Paveiksle 5.2 pateikiami rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų (9766 kNm/rad). Pastarojo rėmo deformacijos pradinio rėmo (5.1 pav.) deformacijas viršija daugiau nei 8 kartus.



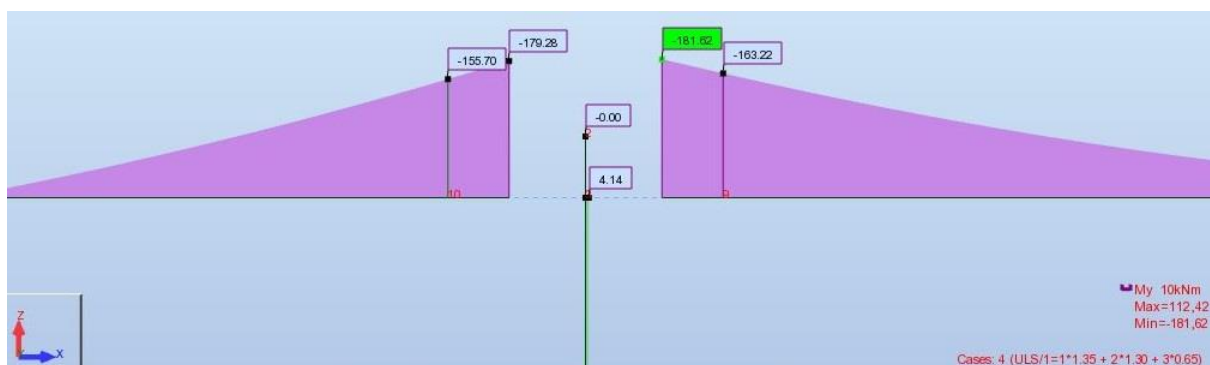
5.2 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų

Poslinkiai atitinkantys tiesinių skaičiavimų skaitinį modelį *SolidWorks* programa gauti prie 110820 kNm/rad gembės mazgo standumo ir prie 16860 kNm/rad sijos mazgo standumo. Rėmo poslinkiai su šiais mazgų standumais pateikiami 5.3 paveiksle. Pastarojo rėmo deformacijos pradinio rėmo (5.1 pav.) deformacijas viršija tik apie 3 kartus.



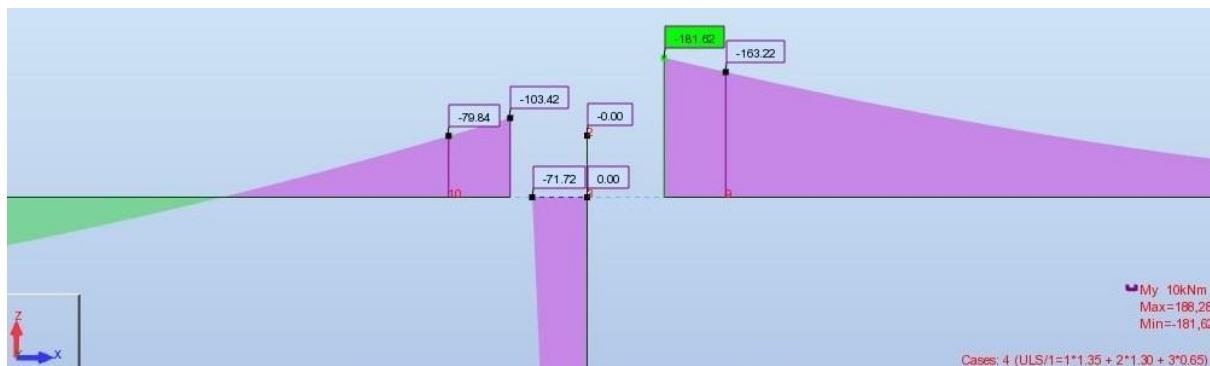
5.3 pav. Rėmo suminiai vektoriniai poslinkiai, atitinkantys skaitinį modelį, *SolidWorks* programa

Paveiksle 5.4 pateikiama momentų diagrama su standžiais kolonos-sijos mazgais. Iš pastarojo paveikslo matyti, kad tiek sijos, tiek gembės mazguose momentai beveik identiški, o kolonoje momentas ties mazgų artimas nuliui.



5.4 pav. Rėmo momentų diagrama su standžiais kolonos-sijos mazgais

Paveiksle 5.5 pateikiama momentų diagrama su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų. Lyginant pastarąją diagramą su diagrama, kur mazgai standūs (5.4 pav.), matyti ženklus įrašų persiskirstymas. Sijos mazge momentas sumažėja beveik 2 kartus, kuris persiskirsto į koloną, kurioje momentas nuo artimo nuliui išauga iki -71,7 kNm. Gembės mazgo momentas nepakinta dėl gembės nepriklausomo darbo (galioja tik įrašoms, bet ne poslinkiams).



5.5 pav. Rėmo momentų diagrama su mazgų standumu, gautu iš analitinių skaičiavimų

Paveiksle 5.6 pateikiama momentų diagrama, atitinkanti skaitinį modelį, *SolidWorks* programa. Lyginant pastarąją diagramą su diagrama, kur mazgai standūs (5.4 pav.), matyti

My 10kNm
 Max = 166.98
 Min = -181.62

Cases: 4 (ULS/1=1*1.35 + 2*1.30 + 3*0.65)

Lentelėje 5.1 pateikiama skaitinių ir analitinių tyrimų rezultatų suvestinė, iš jos matyti ženklus rezultatų skirtumas priklausomai nuo pasirinkto analizės metodo.

	Standus mazgas – <i>Autodesk Robot</i>	Pasiduodantis mazgas – analitiniai skaičiavimai (<i>Autodesk Robot</i>)	Tiesinė analizė – <i>SolidWorks</i>	Netiesinė analizė – <i>SolidWorks</i>	Pasiduodantis mazgas – <i>Autodesk Robot</i>
Gembės mazgo standumas	∞	9571 kNm/rad	–	–	110820 kNm/rad
Sijos mazgo standumas	∞	9571 kNm/rad	–	–	16860 kNm/rad
Gembės galo poslinkis	5,385mm	45,112mm	14,8 mm	15,15 mm	14,800 mm
Sijos vidurio poslinkis	5,496mm	8,146mm	7,402 mm	7,371 mm	7,402 mm

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Iš literatūros apžvalgos nustatyta, kad sijų-kolonų mazgai gali būti lankstūs, standūs ir pusiau standūs (pasiduodantys), tačiau pastarųjų mazgų realizacija globalios struktūros atžvilgiu yra gana sudėtingas uždavinys.

Atlikta sijos-kolonos mazgo iš tuščiavidurių profiliuotųjų su varžtų išdėstymu profiliuotųjų kontūre analizė, remiantis plieninių konstrukcijų projektavimo normomis LST EN 1993-1-1:2007 ir LST EN 1993-1-8:2005. Nustatyta komponentų laikomoji galia, jų atsargos koeficientai bei tiek atskirų komponentų tiek viso mazgo standumo charakteristikos.

Atliktas konstrukcijos skaitinis eksperimentas tiesiniu ir netiesiniu metodu. Gauti rezultatai palyginti tarpusavyje bei palyginti su analitiniais skaičiavimais.

Nustatyta, kad konstrukcijos skaitinį eksperimentą standartine baigtinių elementų programa, tikslingiau atlikti nei analitine. Analitinė metodika pagal LST EN 1993-1-8:2008 sunkiai pritaikoma nestandartinių mazgų skaičiavimams.

Atliktas konstrukcijos skaitinis eksperimentas standartine baigtinių elementų programa parodė, jog skaitinio eksperimento rezultatai ženkliai skiriasi nuo konstrukcijos analizės rezultatų, taikant analitinius metodus.

Pastebėta, jog įtempių staigus šuolis, jų koncentracija, pasireiškia analizuotos konstrukcijos elementų kontaktų vietose. Lokalinis efektas, tankinant baigtinių elementų tinklą (siekiant jo optimalumo), yra labiau įvertinamas.

Lyginant analitinius ir skaitinius skaičiavimus nustatyta, kad kintant analizės metodams, prielaidoms ir pradinių duomenų atskaitos taškui, gaunamos labai skirtingos mazgų deformacijos.

Nustatyta, kad skaičiuojant pasiduodančius mazgus analitiniais projektavimo metodais pagal LST EN 1993-1-1:2007 ir LST EN 1993-1-8:2005, turi būti atliekama iteracinė analizė. Nusistatyti pradiniai mazgų standumai turi būti palyginti su gautais skaičiavimų metu.

Rekomenduojama bandymais patikrinti įtempiamųjų varžtų dirbančių tempimui įtaką mazgo standumui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Chen W.F., Goto Y., Liew J.Y.R. *Stability design of semi-rigid frames*. John Wiley & Sons, Inc., 1996. 468 p.
- Faella C., Piluso V., Rizzano G. *Structural steel semirigid connections*. Theory, design and software. CRC press, 1999. – 505 p.
- Gurskis, V. 2008. *Statybinės medžiagos*. Mokomoji knyga. Kaunas: Ardiva. 136 p.
- LST EN 1990:2004. *Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai*. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2004, xxx p.
- LST EN 1991-1-1:2004. Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-1 dalis. Bendrieji poveikiai. Tankiai, savasis svoris, pastatų naudojimo apkrovos. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2004, xxx p.
- LST EN 1991-1-3:2004. Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-3 dalis. Bendrieji poveikiai. Sniego apkrovos. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2004, xxx p.
- LST EN 1991-1-4:2005. Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis. Bendrieji poveikiai. Vėjo poveikiai. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2005, xxx p.
- LST EN 1993-1-1:2007. Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2007, xxx p.
- LST EN 1993-1-5:2006. Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-5 dalis. Lakštinių konstrukcijų elementai. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2006, xxx
- LST EN 1993-1-8:2005 *Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-8 dalis. Mazgų projektavimas*. Lietuvos standartizacijos departamentas, Vilnius, 2005, xxx p.
- Marčiukaitis, G. 2004. *Pastatai ir jų konstrukcijos*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 134 p.
- Pusiau standžių mazgų elgsena ir modeliavimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-04-20]. Prieiga per internetą: <http://iti.vgtu.lt/imitacijosmain/mazguteorija.aspx>
- Steel Connections [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-04-20]. Prieiga per internetą: <http://www.finesoftware.eu/help/finec/en/steel-connections-01/>
- Urbonas, K. 2006. *Plieninių rėminių konstrukcijų pasiduodančių mazgų modeliavimo ir projektavimo metodų kūrimas*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 113 p.
- Ismail R. E. S., Fahmy A.S., Khalifa A. M., Mohamed Y. M. 2016. *Numerical Study on Ultimate Behaviour of Bolted End-Plate Steel Connections*. Latin American Journal of Solids and Structures 13 (2016) 1-22.
- Wang, J. Spencer Jr. B.F. 2013. *Experimental and analytical behavior of blind bolted moment connections*. Journal of Constructional Steel Research 82 (2013) 33–47.

PRIEDAS. Komponentų metodo skaičiavimai *Mathcad* programa

1. ŠLYTIES VEIKIAMA KOLONOS SIENELĖS PLOŠTELĖ

1.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed.1} := 698.58 \text{ kN}$ – šliejamą kolonos sienelės plokštelę veikianti jėga;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – kolonos sienelės takumo riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis atsargos koeficientas bet kurios klasės skerspjūvių laikomajai galiai;

$h_c := 250 \text{ mm}$ – kolonos aukštis;

$t_{cw} := 20 \text{ mm}$ – kolonos sienelės storis aukštis;

$t_{cf} := 20 \text{ mm}$ – kolonos lentynos storis aukštis;

$\beta := 1$ – transformacijos parametras;

1.2 Skaičiavimai

1.2.1 Nuo f_y priklausantis koeficientas

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} \text{ mm} = 0.814 \cdot \text{mm}$$

1.2.2 Jeigu sąlyga tenkinama galioja toliau aprašyti metodai

$$t_{cw} \leq 69\varepsilon = 1$$

1.2.3 Kolonos sienelės aukštis

$$h_{cw} := h_c - 2t_{cf} = 210 \cdot \text{mm}$$

1.2.3 Kolonos sienelės šlyjamasis plotas

$$A_{vc} := h_{cw} \cdot t_{cw} = 42 \cdot \text{cm}^2$$

1.2.4 Skačiuotinė plastinė šlijamoji galia

$$V_{wc.Rd} := \frac{0.9 \cdot A_{vc} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 774.746 \cdot \text{kN}$$

1.2.5 Šlyties veikiamos kolonos sienelės plokštelės laikomoji galia

$$F_{Rd.1} := \frac{V_{wc.Rd}}{\beta} = 774.746 \cdot \text{kN}$$

1.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_1 := \frac{F_{Ed.1}}{F_{Rd.1}} \cdot 100\% = 90.169\%$$

1.4 Standžio koeficientas

$$k_1 := \frac{0.38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot h_{cw}} = 7.6 \cdot \text{mm}$$

2. SKERSINIO GNIUŽDYMO VEIKIAMA KOLONOS SIENELĖS PLOKŠTELĖ

2.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed.2} := 698.58 \text{ kN}$ – gniuždymo jėga veikianti kolonos sienelės plokštelę;

$E := 210 \text{ GPa}$ – elementų plieno tamprumo modulis;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – elementų takumo stiprio riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis bet kurios klasės skerspjūvių laikomosios galios koeficientas;

$\gamma_{M1} := 1.25$ – dalinis atsargos koeficientas elementų klupumo laikomajai galiai;

$h_c := 250 \text{ mm}$ – kolonos aukštis;

$b_c := 250 \text{ mm}$ – kolonos plotis;

$t_{fc} := 20 \text{ mm}$ – kolonos lentynos storis;

$t_{wc} := 10 \text{ mm}$ – kolonos sienelės storis;

$t_{sd} := 10 \text{ mm}$ – apatinės sąstandos storis;

$t_{ep} := 35 \text{ mm}$ – sijos galinės plokštelės storis;

$t_{fb} := 20 \text{ mm}$ – sijos lentynos storis;

$a_c := 0 \text{ mm}$ – kolonos kertinės siūlės storis;

$a_p := 0 \text{ mm}$ – sijos kertinės siūlės storis;

$k_{wc} := 1$ – pataisos koeficientas;

$\alpha := 0.49$ – nuokrypos koeficientas, c krevė;

$\beta := 1$ – transformacijos parametras;

2.2 Skaičiavimai

2.2.1 Ilgis apskaičiuojamas pagal duotą formulę

$$s_p := t_{ep} = 35 \cdot \text{mm}$$

2.2.2 Ilgis nustatomas, pagal 45° sklaidą (priimama minimali reikšmė)

$$s := \sqrt{2} a_c = 0 \cdot \text{mm}$$

2.2.3 Kolonos sienelės aukštis

$$h_{wc} := h_c - 2t_{fc} = 210 \cdot \text{mm}$$

2.2.4 Laisvasis kolonos sienelės aukštis

$$d_{wc} := h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c) = 210 \cdot \text{mm}$$

2.2.5 Kolonos sienelės šlyjamasis plotas

$$A_{vc} := h_{wc} \cdot t_{wc} = 21 \cdot \text{cm}^2$$

2.2.6 Gniuždymo veikiamos kolonos sienelės efektyvusis plotis

$$b_{\text{eff.c.wc}} := t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p = 155 \cdot \text{mm}$$

2.2.7 Plokštelės liaunis

$$\lambda_p := 0.932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff.c.wc}} \cdot d_{wc} \cdot f_y}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0.691$$

2.2.8 Plokštelės klupumo pataisos koeficientas

$$\rho := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \lambda_p \leq 0.72 \\ \frac{\lambda_p - 0.2}{\lambda_p^2} & \text{if } \lambda_p > 0.72 \end{cases} = 1$$

2.2.9 Pataisos koeficientas šlyties poveikiui

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff.c.wc}} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0.765$$

$$\omega_2 := \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff.c.wc}} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0.511$$

$$\omega := \begin{cases} 1.0 & \text{if } 0 \leq \beta \leq 0.5 \\ \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1) & \text{if } 0.5 \leq \beta \leq 1 \\ \omega_1 & \text{if } \beta = 1 \\ \omega_1 + 2(\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1) & \text{if } 1 < \beta < 2 \\ \omega_2 & \text{if } \beta = 2 \end{cases} = 0.765$$

2.2.10 Apatinės sąstandos plotis

$$b_{sd} := \frac{b_c - t_{wc}}{2} = 120 \cdot \text{mm}$$

2.2.11 Apatinės sąstandos plotas

$$A_{sd} := 2 \cdot t_{sd} \cdot b_{sd} = 24 \cdot \text{cm}^2$$

2.2.12 Apatinės sąstandos klumpamasis ilgis

$$L_{cr} := h_c - 2 \cdot t_{fc} = 210 \cdot \text{mm}$$

2.2.13 Apatinės sąstandos inercijos momentas

$$I_{sd} := \frac{2b_{sd} \cdot t_{sd}^3}{12} = 2 \cdot \text{cm}^4$$

2.2.14 Atitinkamos klupumo formos tamprioji kritinė jėga, pagrįsta bendrojo skerspjūvio savybėmis.

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sd}}{L_{cr}^2} = 939.962 \cdot \text{kN}$$

2.2.15 Sąlyginis liaunis

$$\lambda_{dash} := \sqrt{\frac{A_{sd} \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0.952$$

2.2.16 Bendrasis pradinis nesuvaržytas perkrypis

$$\Phi := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_{dash} - 0.2) + \lambda_{dash}^2 \right] = 1.137$$

2.2.17 Klupumo koeficientas pagal atitinkamą klupumo kreivę

$$\chi_{sd} := \begin{cases} \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{dash}^2}} & \text{if } \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{dash}^2}} \leq 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.635$$

2.2.18 Skačiuotinė skersinio gniuždymo veikiamos sienelės laikomoji galia

$$F_{c.wc.Rd.1} := \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{(A_{sd} \cdot f_y)}{\gamma_{M0}} = 1.273 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{c.wc.Rd.2} := \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} + \frac{\chi_{sd} \cdot A_{sd} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 769.835 \cdot \text{kN}$$

$$F_{Rd.2} := \min(F_{c.wc.Rd.1}, F_{c.wc.Rd.2}) = 769.835 \cdot \text{kN}$$

2.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_2 := \frac{F_{Ed.2}}{F_{Rd.2}} \cdot 100\% = 90.744 \cdot \%$$

2.2 Standžio koeficientas

$$k_2 := \frac{0.7 \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = 5.167 \cdot \text{mm}$$

3. SKERSINIO TEMPIMO VEIKIAMA KOLONOS SIENELĖS PLOKŠTELĖ

3.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed.3} := 698.58 \text{ kN}$ – tempimo jėga veikianti kolonos sienelės plokštelę;

$E := 210 \text{ GPa}$ – elementų plieno tamprumo modulis;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – elementų takumo stiprio riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis bet kurios klasės skerspjūvių laikomosios galios koeficientas;

$h_c := 250 \text{ mm}$ – kolonos aukštis;

$b_c := 250 \text{ mm}$ – kolonos plotis;

$t_{fc} := 20 \text{ mm}$ – kolonos lentynos storis;

$t_{wc} := 10 \text{ mm}$ – kolonos sienelės storis;

$t_{su} := 10 \text{ mm}$ – viršutinės sąstandos storis;

$a_c := 0 \text{ mm}$ – kolonos kartinės siūlės storis;

$k_{wc} := 1$ – pataisos koeficientas;

$\beta := 0$ – transformacijos parametras;

$m_3 := 37 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki kolonos sienelės;

$m_{3.2} := 30 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki sąstandos krašto;

$e_3 := 27 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki kolonos krašto;

3.2 Skaičiavimai

3.2.1 *Liamda parametrai koeficientui alfa nustatyti*

$$\lambda_1 := \frac{m_3}{m_3 + e_3} = 0.578$$

$$\lambda_2 := \frac{m_{3.2}}{m_3 + e_3} = 0.469$$

3.2.2 *Pagal grafiką koeficientas alfa lygus*

$$\alpha_\lambda := 8$$

3.2.3 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.cp}} := 2\pi \cdot m_3 = 232.478 \cdot \text{mm}$$

3.2.4 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.nc}} := \alpha_\lambda \cdot m_3 = 296 \cdot \text{mm}$$

3.2.5 Tempimo veikiamos kolonos sienelės efektyvusis plotis

$$b_{\text{eff.t.wc}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 232.478 \cdot \text{mm}$$

3.2.6 Kolonos sienelės aukštis

$$h_{\text{wc}} := h_c - 2t_{\text{fc}} = 210 \cdot \text{mm}$$

3.2.7 Laisvasis kolonos sienelės aukštis

$$d_{\text{wc}} := h_c - 2(t_{\text{fc}} + \sqrt{2} a_c) = 210 \cdot \text{mm}$$

3.2.8 Kolonos sienelės šlyjamasis plotas

$$A_{\text{vc}} := h_{\text{wc}} \cdot t_{\text{wc}} = 21 \cdot \text{cm}^2$$

3.2.9 Plokštelės liaunis

$$\lambda_p := 0.932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff.t.wc}} \cdot d_{\text{wc}} \cdot f_y}{E \cdot t_{\text{wc}}^2}} = 0.847$$

3.2.10 Plokštelės klupumo pataisos koeficientas

$$\rho := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \lambda_p \leq 0.72 \\ \frac{\lambda_p - 0.2}{\lambda_p^2} & \text{if } \lambda_p > 0.72 \end{cases} = 0.902$$

3.2.11 Pataisos koeficientas šlyties poveikiui

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}}}{A_{\text{vc}}} \right)^2}} = 0.621$$

$$\omega_2 := \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}}}{A_{\text{vc}}} \right)^2}} = 0.368$$

$$\omega := \begin{cases} 1.0 & \text{if } 0 \leq \beta \leq 0.5 \\ \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1) & \text{if } 0.5 \leq \beta \leq 1 \\ \omega_1 & \text{if } \beta = 1 \\ \omega_1 + 2(\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1) & \text{if } 1 < \beta < 2 \\ \omega_2 & \text{if } \beta = 2 \end{cases} = 1$$

3.2.12 Apatinės sąstandos plotis

$$b_{su} := \frac{b_c - t_{wc}}{2} = 120 \cdot \text{mm}$$

3.2.13 Apatinės sąstandos plotas

$$A_{su} := 2 \cdot t_{su} \cdot b_{su} = 24 \cdot \text{cm}^2$$

3.2.13 Apatinės sąstandos inercijos momentas

$$I_{sd} := \frac{b_{su} \cdot t_{su}^3}{12} = 1 \cdot \text{cm}^4$$

3.2.14 Skaičiuotinė skersinio tempimo veikiamos kolonos sienelės plokštelės laikomoji galia

$$F_{Rd.3} := \frac{\omega \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{(A_{su} \cdot f_y)}{\gamma_{M0}} = 1.677 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

2.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_3 := \frac{F_{Ed.3}}{F_{Rd.3}} \cdot 100\% = 41.649 \cdot \%$$

2.2 Standžio koeficientas

$$k_3 := \frac{0.7 \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = 7.749 \cdot \text{mm}$$

4. SKERSINIO LENKIMO VEIKIAMA KOLONOS JUOSTA

4.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed,4} := 698.58 \text{ kN}$ – lenkimo jėga veikianti kolonos juostą;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – elementų takumo stiprio riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis bet kurios klasės skerspjūvių laikomosios galios koeficientas;

$t_{fc} := 20 \text{ mm}$ – kolonos lentynos storis;

$m := 39 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki kolonos sienelės;

$m_2 := 30 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki sąstandos krašto;

$e := 27 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžto skylės centro iki kolonos krašto;

$F_{t,Rd} := 176.4 \text{ kN}$ – skaičiuotinė varžto tempiamoji galia;

$A_s := 245 \text{ mm}^2$ – varžo efektyvusis tempiamųjų įtempių plotas;

$n_b := 4$ – tempimo jėgos veikiamų varžtų skaičius;

4.2 Skaičiavimai

4.2.1 Ljamda parametrai koeficientui alfa nustatyti

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.591$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.455$$

4.2.2 Pagal grafiką koeficientas alfa lygus

$$\alpha_\lambda := 8$$

4.2.3 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff,cp}} := 2\pi \cdot m = 245.044 \cdot \text{mm}$$

4.2.4 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff,nc}} := \alpha_\lambda \cdot m = 312 \cdot \text{mm}$$

4.2.5 Pirmasis irties pobūdis

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.nc}}, l_{\text{eff.cp}}) = 245.044 \cdot \text{mm}$$

4.2.6 Antrasis irties pobūdis

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 312 \cdot \text{mm}$$

4.2.7 Pirmojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := \frac{0.25 \cdot l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = 8.699 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

4.2.8 Antrojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := \frac{0.25 \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = 11.076 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

4.2.9 Pirmasis pobūdis: visiškasis juostos plastiškumas

$$F_{\text{t.fc.1.Rd}} := \frac{4M_{\text{pl.1.Rd}}}{m} = 892.212 \cdot \text{kN}$$

4.2.10 Antrasis pobūdis: varžto irtis, kai yra juostos plastiškumas

$$F_{\text{t.fc.2.Rd}} := \frac{3M_{\text{pl.2.Rd}} + e \cdot n_b \cdot F_{\text{t.Rd}}}{m + e} = 792.109 \cdot \text{kN}$$

4.2.11 Trečiasis pobūdis: varžto irtis

$$F_{\text{t.fc.3.Rd}} := n_b \cdot F_{\text{t.Rd}} = 705.6 \cdot \text{kN}$$

4.2.12 Varžtinės jungties su galine plokšte skaičiuotinė sijos sienelės tempiamoji galia

$$F_{\text{Rd.4}} := \min(F_{\text{t.fc.1.Rd}}, F_{\text{t.fc.2.Rd}}, F_{\text{t.fc.3.Rd}}) = 705.6 \cdot \text{kN}$$

4.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_4 := \frac{F_{\text{Ed.4}}}{F_{\text{Rd.4}}} \cdot 100\% = 99.005\%$$

4.4 Standžio koeficientas

4.4.1 Mažiausias efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.fc}} := \min(l_{\text{eff.1}}, l_{\text{eff.2}}) = 245.044 \cdot \text{mm}$$

4.4.2 Koeficientas

$$k_4 := \frac{0.9 \cdot l_{\text{eff.fc}} \cdot t_{\text{fc}}^3}{m^3} = 29.743 \cdot \text{mm}$$

5. LENKIMO VEIKIAMA GALINĖ PLOKŠTELĖ

5.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed.5} := 698.58 \text{ kN}$ – jėga lenkianti sijos galinę plokštelę;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – sijos galinės plokštelės takumo riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis atsargos koeficientas bet kurios klasės skerspjūvių laikomajai galiai;

$b_{ep} := 250 \text{ mm}$ – sijos galinės plokštelės plotis;

$t_{ep} := 35 \text{ mm}$ – sijos galinės plokštelės storis;

$w := 196 \text{ mm}$ – atstumas tarp kraštinių varžtų;

$e := 27 \text{ mm}$ – atstumas nuo išorinio varžto skylės centro iki elemento krašto;

$e_x := 30 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžtų eilės skylių centrų iki elemento krašto;

$m_x := 30 \text{ mm}$ – atstumas nuo varžtų skylių eilės centrų iki sijos lentynos;

$n_b := 4$ – tempimo jėgos veikiamų varžtų
skaičius;

$F_{t.Rd} := 176.4 \text{ kN}$ – skaičiuotinė varžto tempiamoji galia;

5.2 Skaičiavimai

5.2.1 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{eff.cp} := \min(2\pi \cdot m_x, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2e) = 148.248 \cdot \text{mm}$$

5.2.2 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{eff.nc} := \min(4m_x + 1.25e_x, e + 2m_x + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m_x + 0.625e_x) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

5.2.3 Pirmasis irties pobūdis

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.nc}, l_{eff.cp}) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

5.2.4 Antrasis irties pobūdis

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 105.75 \cdot \text{mm}$$

5.2.5 Koeficientų skaičiavimas

$$e_{\min} := e = 27 \cdot \text{mm}$$

$$n := e_{\min} = 27 \cdot \text{mm}$$

$$n \leq 1.25m_x = 1, \text{ sąlyga tenkinama}$$

$$m := m_x = 30 \cdot \text{mm}$$

5.2.6 Pirmojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := \frac{0.25 \cdot l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{ep}}^2 \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = 11.497 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5.2.7 Antrojo irties pobūdžio skaičiuotinė lenkiamoji galia

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := \frac{0.25 \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{ep}}^2 \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = 11.497 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

5.2.8 Pirmasis pobūdis: visiškasis juostos plastiškumas

$$F_{\text{ep.1.Rd}} := \frac{4M_{\text{pl.1.Rd}}}{m_x} = 1.533 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

5.2.9 Antrasis pobūdis: varžto irtis, kai yra juostos plastiškumas

$$F_{\text{ep.2.Rd}} := \frac{2M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot n_b \cdot F_{\text{t.Rd}}}{m + n} = 737.635 \cdot \text{kN}$$

5.2.10 Trečiasis pobūdis: varžto irtis

$$F_{\text{ep.3.Rd}} := n_b \cdot F_{\text{t.Rd}} = 705.6 \cdot \text{kN}$$

5.2.11 Varžtinės jungties su galine plokšte skaičiuotinė sijos sienelės tempiamoji galia

$$F_{\text{Rd.5}} := \min(F_{\text{ep.1.Rd}}, F_{\text{ep.2.Rd}}, F_{\text{ep.3.Rd}}) = 705.6 \cdot \text{kN}$$

5.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_5 := \frac{F_{\text{Ed.5}}}{F_{\text{Rd.5}}} \cdot 100\% = 99.005\%$$

5.4 Standžio koeficientas

5.4.1 Mažiausias efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.ep}} := \min(l_{\text{eff.1}}, l_{\text{eff.2}}) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

5.4.2 Koeficientas

$$k_5 := \frac{0.9 l_{\text{eff.ep}} \cdot t_{\text{ep}}^3}{m^3} = 151.134 \cdot \text{mm}$$

7. GNIUŽDYMO VEIKIAMA SIJOS JUOSTA IR SIENELĖ

7.1 Pradiniai duomenys

$M_{Ed} := 181.63 \text{ kN} \cdot \text{m}$ – lenkimo momentas veikianti siją;

$V_{Ed} := 235.82 \text{ kN}$ – skersinė jėga veikianti siją;

$f_y := 355 \text{ MPa}$ – elementų plieno takum riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis atsargos koeficientas bet kurios klasės skerspjūvių laikomajai galiai;

$h_b := 230 \text{ mm}$ – sijos aukštis;

$b_b := 250 \text{ mm}$ – sijos plotis;

$h_{wb} := 190 \text{ mm}$ – sijos sienelės aukštis;

$t_{wb} := 10 \text{ mm}$ – sijos sienelės storis;

$b_{fb} := 250 \text{ mm}$ – sijos juostos plotis;

$t_{fb} := 20 \text{ mm}$ – sijos juostos storis;

7.2 Skaičiavimai

7.2.1 Gniuždymo jėga veikianti sijos ar kolonos juostą ir sienelę

$$F_{Ed.7} := \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}} = 864.905 \cdot \text{kN}$$

7.2.2 Juostos skerspjūvio plotas

$$A_{fb} := t_{fb} \cdot b_{fb} = 50 \cdot \text{cm}^2$$

7.2.3 Sienelės skerspjūvio plotas

$$A_{wb} := 2t_{wb} \cdot h_{wb} = 38 \cdot \text{cm}^2$$

7.2.4 Juostos inercijos momentas

$$I_{fb} := \frac{b_{fb} \cdot t_{fb}^3}{12} = 16.667 \cdot \text{cm}^4$$

7.2.5 Sienelės inercijos momentas

$$I_{wb} := \frac{h_{wb} \cdot t_{wb}^3}{12} = 1.583 \cdot \text{cm}^4$$

7.2.6 Elemento inercijos momentas

$$I := 2 \left[I_{fb} + A_{fb} \cdot \left(\frac{t_{fb}}{2} + \frac{h_{wb}}{2} \right)^2 \right] + 2I_{wb} = 1.106 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

7.2.7 Elemento atsparumo momentas

$$W_{pl.y.b} := \frac{I}{\frac{h_b}{2}} = 961.87 \cdot \text{cm}^3$$

7.2.8 Šlyjamasis plotas

$$A_{Vb} := 2h_{wb} \cdot t_{wb} = 38 \cdot \text{cm}^2$$

7.2.9 Skačiuotinė plastinė šlijamoji galia

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{Vb} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = 778.846 \cdot \text{kN}$$

7.2.10 Skačiuotinė lenkiamoji galia apie pagrindinę ašį

$$M_{y.c.Rd} := \frac{W_{pl.y.b} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 341.464 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

7.2.11 Skačiuotinės lenkiamosios galios pataisos koeficientas, atsižvelgiant į šlyties jėgas

$$\rho := \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 = 0.156$$

7.2.12 Sumažintosios skaičiuotinės lenkiamosios galios reikšmės, atsižvelgiant į šlyties jėgas

$$M_{y.V.Rd} := \frac{\left(W_{pl.y.b} - \frac{\rho \cdot A_{wb}^2}{4 \cdot t_{wb}} \right) f_y}{\gamma_{M0}} = 321.525 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

7.2.13 Skačiuotinė lenkiamoji galia aplink pagrindinę ašį

$$M_{c.Rd} := \min(M_{y.V.Rd}, M_{y.c.Rd}) = 321.525 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

7.2.14. Gniuždymo veikiamo sijos ar kolonos juostos ir sienelės skaičiuotinė laikomoji galia

$$F_{Rd.7} := \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} = 1.531 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

7.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_7 := \frac{F_{Ed.7}}{F_{Rd.7}} \cdot 100\% = 56.49\%$$

7.4 Stadžio koeficientas

$$k_7 := \infty$$

8. TEMPIMO VEIKIAMA SIJOS SIENELE

8.1 Pradiniai duomenys

$f_y := 355\text{MPa}$ – elementų plieno takumo riba;

$\gamma_{M0} := 1.0$ – dalinis atsargos koeficientas bet kurios klasės skerspjūvių laikomajai galiai;

$b_{ep} := 250\text{mm}$ – galinės plokštelės plotis;

$t_{wb} := 10\text{mm}$ – sijos sienelės storis;

$w := 196\text{mm}$ – atstumas tarp kraštinių varžtų;

$e := 27\text{mm}$ – atstumas nuo išorinio varžto skylės centro iki elemento krašto;

$e_x := 30\text{mm}$ – atstumas nuo varžtų eilės skylių centrų iki elemento krašto;

$m_x := 30\text{mm}$ – atstumas nuo varžtų skylių eilės centrų iki sijos lentynos;

8.2 Skaičiavimai

8.2.1 Apskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.cp}} := \min(2\pi \cdot m_x, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2e) = 148.248 \cdot \text{mm}$$

8.2.2 Neapskritiminio modelio efektyvusis ilgis

$$l_{\text{eff.nc}} := \min(4m_x + 1.25e_x, e + 2m_x + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m_x + 0.625e_x) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

8.2.3 Pirmasis irties pobūdis

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.nc}}, l_{\text{eff.cp}}) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

8.2.4 Antrasis irties pobūdis

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 105.75 \cdot \text{mm}$$

8.2.5 Tempimo veikiamos sijos sienelės efektyvusis plotis

$$b_{\text{eff.t.wb}} := \min(l_{\text{eff.1}}, l_{\text{eff.2}}) = 105.75 \cdot \text{mm}$$

8.2.6 Varžtinės jungties su galine plokšte skaičiuotinė sijos sienelės tempiamoji galia

$$F_{\text{Rd.8}} := \frac{(b_{\text{eff.t.wb}} \cdot t_{wb} \cdot f_y)}{\gamma_{M0}} = 375.413 \cdot \text{kN}$$

8.4 Standžio koeficientas

$$k_8 := \infty$$

10. TEMPIMO VEIKIAMĖ VARŽTAI

10.1 Pradiniai duomenys

$F_{Ed.10} := 698.58 \text{ kN}$ – tempiamų varžtų eilę veikianti jėga;

$A_s := 245 \text{ mm}^2$ – varžo efektyvusis tempiamųjų įtempių plotas;

$f_{ub} := 1000 \text{ MPa}$ – varžtų stiprumo riba;

$f_u := 510 \text{ MPa}$ – elementų plieno stiprio riba;

$\gamma_{M2} := 1.25$ – dalinis patikimumo koeficientas varžtų laikomajai galiai mazguose;

$t_{ep} := 35 \text{ mm}$ – sijos galinės plokštelės storis;

$t_{fc} := 20 \text{ mm}$ – kolonos juostos storis;

$n_b := 4$ – tempimo jėgos veikiamų varžtų skaičius;

$h_{bolt} := 10 \text{ mm}$ – varžo galvutės aukštis;

$h_{washer} := 5 \text{ mm}$ – poveržlės storis;

$h_{nut} := 10 \text{ mm}$ – veržlės storis;

$s_{bolt} := 30 \text{ mm}$ – atstumas tarp varžo galvutės šoninių plokštumų;

$e_{bolt} := 33.53 \text{ mm}$ – atstumas tarp varžo galvutės šoninių briaunų;

$s_{nut} := 30 \text{ mm}$ – atstumas tarp varžo veržlės šoninių plokštumų;

$e_{nut} := 33.53 \text{ mm}$ – atstumas tarp varžo veržlės šoninių briaunų;

10.2 Skaičiavimai

10.2.1 Skačiuotinė varžto tempiamoji galia

$$F_{t.Rd} := \frac{0.9 f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 176.4 \cdot \text{kN}$$

10.2.2 Mažesnysis atstumas tarp varžo galvutės ar veržlės šoninių plokštumų

$$s := \min(s_{bolt}, s_{nut}) = 30 \cdot \text{mm}$$

10.2.3 Mažesnysis atstumas tarp varžo galvutės ar veržlės šoninių briaunų

$$e := \min(e_{bolt}, e_{nut}) = 33.53 \cdot \text{mm}$$

10.2.4 Atstumų tarp varžo galvutės ar veržlės šoninių briaunų ir plokštumų vidurkis

$$d_m := \frac{s + e}{2} = 31.765 \cdot \text{mm}$$

10.2.5 Po varžtu ar veržle esančios plokštelės storis

$$t_p := \min(t_{ep}, t_{fc}) = 20 \cdot \text{mm}$$

10.2.6 Varžto galvutės ir veržlės praspaudžiamoji kerpamoji galia

$$B_{p.Rd} := \frac{0.6\pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 488.585 \cdot \text{kN}$$

10.2.7 Tempimo veikiamų varžtų skaičiuotinė laikomoji galia

$$F_{Rd.10} := n_b \cdot \min(F_{t.Rd}, B_{p.Rd}) = 705.6 \cdot \text{kN}$$

10.3 Komponento išnaudojimas

$$SF_{10} := \frac{F_{Ed.10}}{F_{Rd.10}} \cdot 100\% = 99.005 \cdot \%$$

10.4 Standžio koeficientas

10.4.1 Varžto pailgėjimas prilyginamas aprėpiamajam ilgiui

$$L_b := t_{ep} + t_{fc} + 2h_{washer} + 0.5(h_{bolt} + h_{nut}) = 75 \cdot \text{mm}$$

10.4.2 Koeficientas

$$k_{10} := 1.6 \cdot \frac{A_s}{L_b} = 5.227 \cdot \text{mm}$$