



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Vladimiras Mirošnikovas

PLIENINIŲ PORTALINIŲ RĖMŲ ĮRAŽŲ PERSISKIRSTYMO
ANALIZĖ ĮVERTINANT PLASTINIŲ LANKSTĄ

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. dr. Nerijus Adamukaitis

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

PLIENINIŲ PORTALINIŲ RĖMŲ ĮRAŽŲ PERSISKIRSTYMO
ANALIZĖ ĮVERTINANT PLASTINIŲ LANKSTĄ

magistro projektas
Statyba (kodas T000M167)

Vadovas

(parašas) Doc. Dr. Nerijus Adamukaitis
(data)

Recenzentas

(parašas) Mindaugas Kasiulevičius
(data)

Darbą atliko

(parašas) Vladimiras Mirošnikovas
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros fakultetas

(Fakultetas)

Vladimiras Mirošnikovas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, T000M167

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Baigiamojo projekto pavadinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Gruodžio 15 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Vladimiro Mirošnikovo**, baigiamasis projektas tema „Plieninių portalinių rėmų įrašų persiskirstymo analizė įvertinant plastinį lankstą“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

1	LITERTŪROS ANALIZĖ	9
1.1.	Pagrindinės teorinės žinios	9
1.2.	KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ	9
1.2.1.	Visuminė analizė	9
1.3.	BENDRIEJI PRINCIPAI	10
1.3.1.	SAUGOS RIBINIS BŪVIS	10
1.4.	NETOLYGUMAI	13
1.5.	EKVIVALENTINĖS HORIZONTALIOS JĖGOS	13
1.6.	TAMPRIOJI ANALIZĖ	14
1.7.	PLASTIŠKOJI ANALIZĖ	15
1.8.	TAMPRIOSIOS IR PLASTIŠKOSIOS ANALIZĖS PALYGINIMAS	17
1.9.	PIRMOS IR ANTROS EILĖS ANALIZĖ	19
1.9.1.	MODIFIKUOTI PIRMOS EILĖS POVEIKIAI TAMPRIOSIOS RĖMO ANALIZĖS ATVEJU	19
1.9.2.	MODIFIKUOTI PIRMOS EILĖS POVEIKIAI PLASTIŠKOSIOS RĖMO ANALIZĖS ATVEJU	19
1.10.	SKERSPJŪVIŲ KLASIFIKACIJA	20
2.	Tiriamąjį darbo taikomoji dalis	22
2.1.	LAIKANČIŲJŲ KONSTRUKCIJŲ SKAIČIAVIMAS	22
2.2.	APKROVOS, POVEIKIAI, KLIMATINĖS SĄLYGOS	23
2.2.1.	KLIMATINIAI PARAMETRAI	23
	I vėjo greičio rajonas STR 2.05.04:2003 „POVEIKIAI IR APKROVOS“;	23
	I sniego apkrovos rajonas STR 2.05.04:2003 „POVEIKIAI IR APKROVOS“;	23
2.2.2.	PASTATŲ PATIKIMUMAS IR PASKIRTIS	23
2.2.3.	APLEDĖJIMO APKROVOS	23
2.2.4.	SEISMINĖ APKROVA	23
2.2.5.	APKROVOS STATYBOS METU	24
2.2.6.	ĮLINKIAI	24
2.2.7.	APKROVOS, LAIKANČIOSIOMS KONSTRUKCIJOMS:	24
2.2.8.	SNIEGO APKROVA (SL)	24
2.2.9.	VĖJO APKROVA (WL)	26
2.2.10.	NUOLATINĖ APKROVA (DL)	28
2.2.11.	NAUDOJIMO APKROVA (RL)	28
2.2.12.	APKROVŲ DERINIAI	29
3.	KONSTRUKCIJŲ STATINIAI SKAIČIAVIMAI	30
3.1.	AIŠKINAMASIS RAŠTAS	30

3.2. SKERSPJŪVIŲ SAVYBĖS.....	30
3.3. PORTALINIO RĖMO ĮRAŽŲ SKAIČIAVIMAS IR PIRMINĖ ANALIZĖ.....	31
3.4. ANTROS EILĖS POSLINKIŲ ĮVERTINIMAS	32
3.5. SIJOS AŠINIS GNIUŽDYMAS	32
3.6. SKAIČIAVIMAS	33
3.7. RĖMO SVYRAVYMAI	35
3.8. GALUTINIAI ANALIZĖS REZULTATAI.....	36
3.9. RĖMO SKRESPJŪVIO TIKRINIMAS.....	38
3.10. SKERSPJŪVIŲ ATSPARUMAS	40
3.11. ĮTVIRTINIMŲ TIKRINIMAS	43
3.12. KOLONŲ PATIKRINIMAS.....	44
3.13. TEMPIAMŲ JUOSTOSŲ ĮTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMAS.....	44
3.14. PATIKRINIMAS BE TARPNIŲ SUTVIRTINIMŲ	46
3.15. PATIKSLINTAS SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMAS	49
3.16. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – VIRŠUTINIS SEGMENTAS.....	49
3.17. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – VIDURINIS SEGMENTAS	52
3.18. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – APATINIS SEGMENTAS	54
3.19. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – PAGRINDINĖ AŠIS.....	58
3.20. APIBENDRINIMAS: KOLONOS PJŪVIO TINKAMUMAS.....	59
3.21. SIJOS PATIKRINIMAS	60
3.2.2. ZONA C – ĮDUBUSI DALIS.....	61
3.23. ZONA B –IŠLENKTA DALIS.....	63
3.24. LŪŽIO PLOKŠTUMOS IR LENKIMO ATSPARUMAS	69
3.25. APIBENDRINIMAS: SIJOS PJŪVIO TINKAMUMAS	71
3.26. STANDUMO BRIAUNOS ILGIO PATIKRINIMAS	71
3.27. SKRESPJŪVIO KLASIFIKACIJA	73
3.28. VEIKSMINGAS PLASTIŠKUMO MODULIS	74
3.29. ĮTVIRTINIMO ATSPARUMAS	77
3.30. SUPAPRASTINTAS VERTINIMO METODAS	77
3.31. TIKRINIMAS NAUDOJANT PLASTIŠKUMO ĮVERTINIMĄ.....	79
3.32. NUOKRYPIAI	84
IŠVADOS	85
LITERATŪROS SARAŠAS.....	86
PRIEDAI	88

Vladimiras MIROŠNIKOVAS. Plieninių portalinių rėmų įrašų persiskirstymo analizė įvertinant plastinį lankstą . *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Nerijus Adamukaitis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba, Statybinės konstrukcijos

Reikšminiai žodžiai: *plastinis lankstas, takumo riba, rėmas, konstrukcijų skaičiavimas, karkasinis pastatas.*

Kaunas, 2018. 90 p.

SANTRAUKA

Šio magistro baigiamojo darbo tikslas yra nustatyti plastinio lanksto atsiradimo įtaką statiškai neišsprendžiamo portalinio rėmo mechaniniui pastovumui ir stabilumui. Darbas susideda iš trijų pagrindinių dalių: literatūros duomenų analizės, plastinio lanksto atsiverimo portaliniame rėme tyrimų metodikos bei rezultatų ir jų aptarimo.

Pirmojoje dalyje pateikiami plastinio lanksto atsiverimo portaliniame rėme bendrieji principai, detaliai aprašomi visuminės analizės, tamprumo analizės, plastinės analizės, netolygumai, bei plastinės ir tampriosios analizės palyginimas.

Antroje magistro baigiamojo darbo dalyje pateikiama statiškai neišsprendžiamų (portalinio) rėmo, įrašų persiskirstymo analizė, tyrimų metodika. Darbe pritaikomi dviejų tipų tyrimų metodai: skaitiniai ir kompiuterinio modeliavimo. Kompiuterinio modeliavimo metodų aprašyme nurodomi tyrimams naudojama Dlubal paketo programinė įranga Rfem, pateikiama bandymų atlikimo eiga, baigtinių elementų programa. Šio darbo skaitiniame tyrimų metode nurodomi standartai, pagal kuriuos atliekami tyrimai, analizė. Įrašų persiskirstymo konstrukcijoje analizė, atliekama pateiktomis formulėmis rezultatams skaičiuoti.

Trečioje dalyje pateikiami atlikti tyrimai ir rezultatai, jų aptarimas. Grafiškai pavaizduojamos portaliniame rėme įtempiai, deformacijos ir plastinio lanksto galimo atsivėrimo vietos.

Apibendrinant magistrinį darbą suformuluotos 4 svarbiausios išvados.

Vladimiras MIROŠNIKOVAS. Internal Forces Redistribution Analysis of Steel Portal Frame Considering Plastic Hinge. Master's thesis in Civil Engineering/ supervisor assoc. prof. Nerijus Adamukaitis. The Faculty of Civil Engineering and Architecture Kaunas University of Technology.

Research area and field: Construction, building structures.

Keywords: *plastic hinge, yield strength, frame, structure design, frame building.*

Kaunas, 2018. 90 p.

SUMMARY

The aim of this master's thesis is to determine the influence of plastic hinge emergence on mechanical consistency and stability of statically indeterminate portal frame. Thesis consists of three main parts: literature review, methods of plastic hinge emergence analysis, results and discussion.

In the first part of thesis the main principles of the emergence of plastic hinge in portal frames are presented, as well as limit analysis, elastic analysis, plastic analysis, imperfections and the comparison of plastic and elastic analysis are studied.

In the second part of master's thesis the study methodology of statically indeterminate portal frames internal forces redistribution analysis is presented. In this thesis two types of study methods are used: numerical and computer simulation. In the description of computer simulation method used in this thesis, Dlubal software program Rfem is presented and step-by-step instruction of calculation using this finite element program is described. In the numerical methods description the standards used for research are analysed. Finally, the equations for the redistribution of internal forces are given.

In the final part of the thesis the results of the study and their discussion are presented. Also, stresses and deformations of the portal frame and the possible locations of the plastic hinge emergence are represented in a graphic form.

By summarizing master's thesis 4 main conclusions are given.

IVADAS

Temos aktualumas

Statybos inžinerijoje yra plačiai naudojamos strypų konstrukcijos, pagamintos iš įvairių šiuolaikinių medžiagų – didelio stiprumo plienų, lenktų metalinių ar plastikinių profilių ir kitų. Nauji konstrukciniai pastatų sprendimai, naujos medžiagos, išsamios žinios apie konstrukcijos darbą ir kompiuterinė technika reikalauja nuolat tobulinti statybinių konstrukcijų skaičiavimo metodus. Dėl šių priežasčių racionaliai projektuojant statinius ypatingas dėmesys projektuojant turėtų būti skiriamas išsamiai pasitelkiant matematinio programavimo ir optimizavimo teoriją.

Viena iš strypinių sistemų optimizavimo teorijų yra plastinė elementų analinė ir analizė taikant plastinio lanksto metodą. Šiame magistro darbe nagrinėjama portalinio rėmo elgseną taikant plastinio lanksto analizę.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – nustatyti plastinio lanksto atsiradimo įtaką statiškai neišsprendžiamo portalinio rėmo mechaniniui pastovumui ir stabilumui.

Siekiant užsibrėžto tikslo reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Atliekant literatūros analizę nustatyti plastinių lankstų susidarymą, didžiausių lenkimo momentų taškus ir lenkimo momentų persiskirstymo rėmo elementuose nagrinėjant ir taikant plastinę analizę.
2. Atlikti portalinio statiškai neišsprendžiamo rėmo analizinę analizę taikant plastinę analizę.
3. Atlikti portalinio statiškai neišsprendžiamo rėmo kompiuterinę analizę.
4. Atlikti portalinio statiškai neišsprendžiamo rėmo kompiuterinę analizę taikant plastinę analizę.
5. Palyginti gautus analizinės ir kompiuterinės analizės rezultatus, pateikti išvadas.

Mokslinis naujumas – praktinė vertė

2005 m. vasario mėnesį išleistame plieninių konstrukcijų projektavimo statybos techniniame reglamente nėra metodikos kaip įvertinti plastinę analizę projektuojant plienines konstrukcijas. Dažniausiai projektuotojai subjektyviai pasirenka tam tikrus dalinius koeficientus nenumatytiems poveikiams, tačiau toks projektavimas nėra pagrįstas racionalaus projektavimo nuostatomis. Siekiant objektyviau spręsti šią problemą siūloma atsižvelgti į šiame darbe atliktų tyrimų rezultatus bei metodiką.

1 LITERTŪROS ANALIZĖ

1.1. PAGRINDINĖS TEORINĖS ŽINIOS

Statiškai neišsprendžiamų strypinių sistemų negalima apskaičiuoti, naudojant tik pusiausvyros sąlygas. Tokių sistemų laisvės laipsnių skaičius $L = 3G - 2\check{S} - C < 0$. Jos turi daugiau ryšių negu minimaliai reikalinga. [23]

Statiškai išsprendžiamose sistemose nuo temperatūrinių pokyčių ar atramų nusėdimo atsiranda tik poslinkiai. Statiškai neišsprendžiamose sistemose nuo šių poveikių atsiranda ir vidinės jėgos M , Q , N . Iš kitos pusės, šios sistemos saugesnės už statiškai išsprendžiamas. Jei statiškai išsprendžiama sistema neteks bet kurio ryšio, ji tampa judri ir griūtis neišvengiama. Tuo tarpu statiškai neišsprendžiama sistema, net ir praradus ryšį, dar gali ir nesugriūti. [23]

Nagrinėjant Vidmanto Gako „Plokščių statiškai neišsprendžiamų strypinių sistemų skaičiavimas jėgų metodu“ mokamąją knygą, ir įvertinus visus profesoriaus palyginimus su statiškai išsprendžiamomis konstrukcijomis galima daryti išvadą, kad statiškai neišsprendžiamos konstrukcijos yra ne tik efektyvesnės saugumo atžvilgiu, bet ir optimalios bei efektyvios ekonominiu atžvilgiu. [23]

Statiškai išsprendžiamose sistemose vidinės jėgos nepriklauso nuo strypų standumų lenkiant EJ ir tempiant – gniuždant EA . Statiškai neišsprendžiamose – priklauso. Prieš apskaičiuojant M , Q , ir N , tenka iš anksto priimti strypų skerspjūvių matmenis, apskaičiuoti jų standumus arba jų santykius. Po to, parinkus skerspjūvių matmenis pagal apskaičiuotas vidines jėgas, tikriname, ar jie atitinka preliminariai užsiduotus. Jei ne, tenka skaičiuoti iš naujo. Tai gerokai prailgina ir šiaip gana sudėtingą statiškai neišsprendžiamų strypinių sistemų skaičiavimo kelią. [23]

1.2. KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

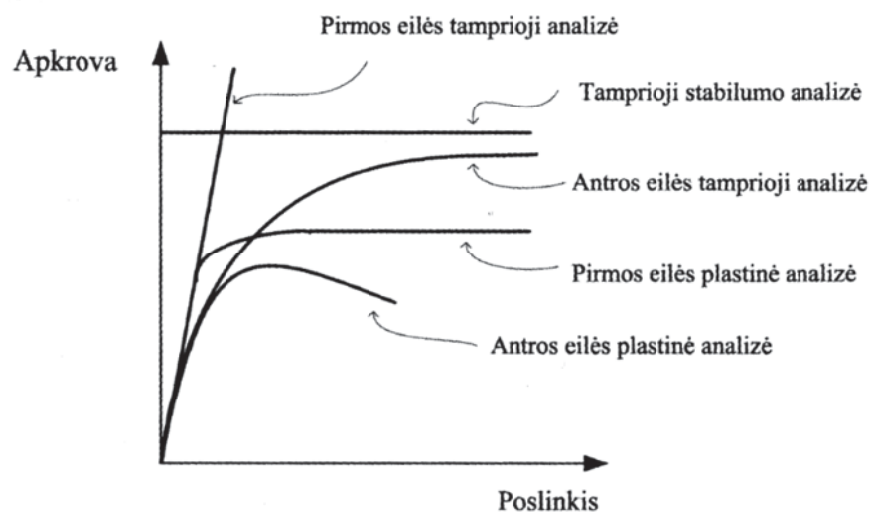
1.2.1. Visuminė analizė

Iki eurokodo galiojančiose Lietuvoje plieninių konstrukcijų projektavimo normose, išskyrus STR [26], nebuvo skiriama pakankamai dėmesio konstrukcijos įtempių deformuotam būviui nustatyti. Didėjant šiuolaikinių konstrukcijų skaičiavimo metodų galimybėms ir įvairovei ir jų taikymui kompiuterinėse konstrukcijų skaičiavimo sistemose vis labiau tapo apibrėžti šių metodų taikymo sritis projektuojant konstrukcijas. [27]

Eurokodas 3 nurodo, kad plieninių konstrukcijų visuminė (bendroji) analizė gali būti atliekama kaip: [28]

- Pirmosios eilės tamprioji analizė (taikoma pradinė konstrukcijos geometrija ir tampriosios medžiagos modelis);
- Antrosios eilės tamprioji analizė (taikoma deformuota konstrukcijos geometrija ir tampriosios medžiagos modelis);
- Pirmosios eilės plastinė analizė (taikoma pradinė konstrukcijos geometrija ir tampriai plastiškos medžiagos modelis);
- Antrosios eilės plastinė analizė (taikoma deformuota konstrukcijos geometrija ir tampriai plastiškos medžiagos modelis).

Aprašytų plieninių konstrukcijų skaičiavimo atvejų grafinė interpretacija pateikta **1 pav.**



1 pav. Konstrukcijų analizės

Eurokode daug dėmesio skiriama skaičiuojamos konstrukcijos modeliavimo metodams. Ypač pabrėžiamas reikalavimas, kad konstrukcijų skaičiavimo metodai turi kuo labiau atlikti tikrąją konstrukcijos elgseną. [1] Teigiama, kad pasirinkimą tarp pirmosios ar antrosios eilės analizės metodų lemia konstrukcijos deformatyvumas. Eurokodas 3 teigia, kad pirmosios eilės analizė gali būti taikoma, jei deformacijų įtaka įrašoms yra labai maža. [3]

1.3. BENDRIEJI PRINCIPAI

1.3.1. SAUGOS RIBINIS BŪVIS

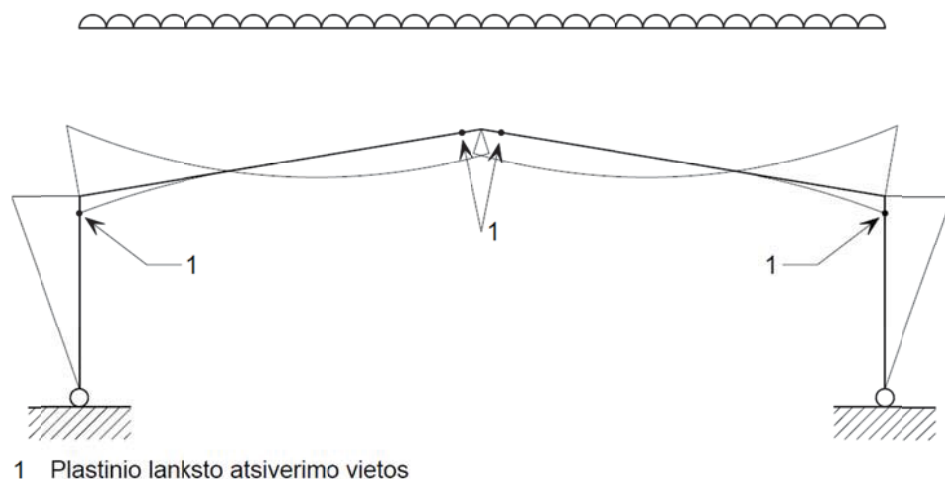
Rėmų analizės metodus pagal saugos ribinį būvį galima skirstyti į du bendrinius tipus – tampriąją analizę ir plastinę analizę. Pastaroji apima standžiąją – plastinę bei tampriąją – plastinę analizes. [13]

Plastinių lankstų susidarymas, didžiausių lenkimo momentų taškai ir lenkimo momentų persiskirstymas rėmo elementuose nagrinėjamas taikant plastinę analizę yra esminiai rodikliai lemiantys portalinių rėmų ekonomiškumą. Plastinių lankstų atsiradimas „numalšina“ didžiausių įtempių regionus ir suteikia galimybę mažesniu išnaudojimo koeficientu pasižyminčioms rėmo dalims dirbti efektyviau. [8]

Tokių plastinių lankstų atsivėrimai atsiranda tuose skerspjūviuose, kur lenkimo momentas pasiekia plastinį momentą arba laikomąją galią veikiant apkrovoms, kurios yra mažesnės nei maksimalios apkrovos saugos ribiniame būvyje. [16]

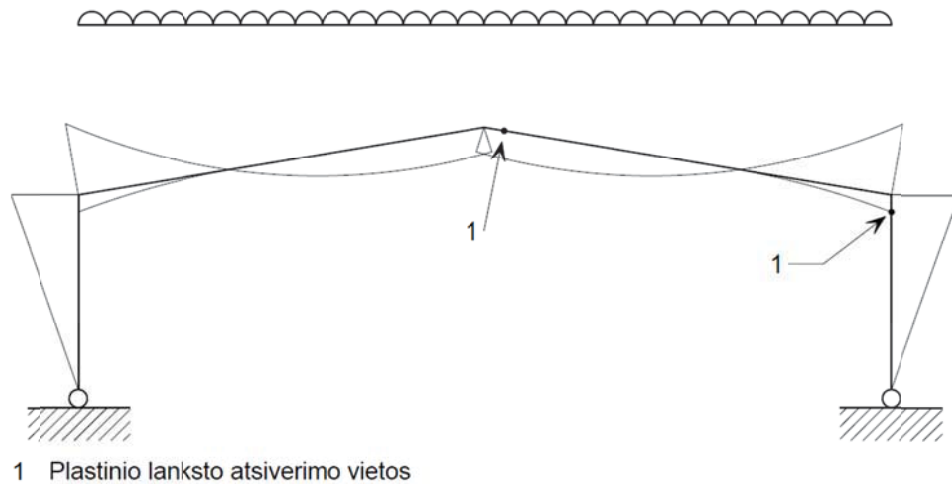
Idealizuota „plastinių“ lenkimo momentų diagrama simetriniam portaliniam rėmui veikiant simetriškai išdėstytoms vertikalioms apkrovoms yra pavaizduota 2. pav. Ši iliustracija parodo plastinių lankstų atsiradimo vietą plastinio suirimo būvio atveju. Pirmasis plastinis lankstas įprastai susiformuoja arti karnizo (šiuo atveju pavaizduota kolonoje). Vėliau, priklausomai nuo portalinio rėmo proporcingumo, lankstai atsiranda šalia kraigo, maksimalaus teigiamo lenkimo momento vietoje. [21]

Portalinis rėmas, atramose įtvirtintas šarnyriškai, turi vieną neapibrėžtumo laipsnį. Taigi, dviejų lankstų atsiradimas reikalingas susidaryti mechanizmui. Keturi lankstai pavaizduoti 2 pav. atsiranda tik todėl, kad rėmas yra tobulai simetriškas. Realioje konstrukcijoje dėl medžiagų stiprumo ir skerspjūvio rodiklių netolygumų tik vienas kraigo lankstas ir vienas karnizo lankstas susidaro sukurdamas mechanizmą. Kadangi nėra žinoma kurie lankstai susidarys realioje konstrukcijoje, priimamas simetrinis lankstų išdėstymas, o jų pozicijos kiekvienoje rėmo pusėje yra apibrėžtos. [9]



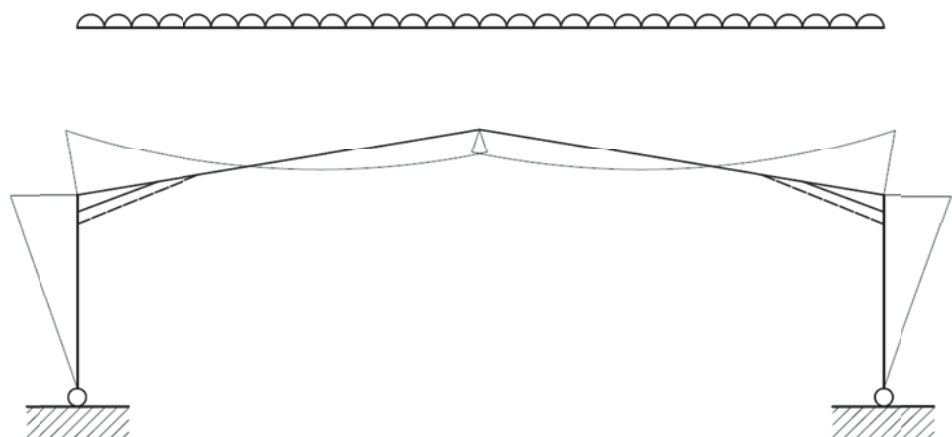
2 pav. Simetriško portalinio rėmo, veikiamo simetriškai išdėstytoms vertikalioms apkrovoms, lenkimo momentų diagrama pagal platiškąją analizę.

Dauguma apkrovų derinių yra simetriški, nes jie apima arba ekvivalentines horizontalias jėgas arba vėjo apkrovas. Tipinė apkrovų ir lenkimo momentų diagrama iliustruota 3 pav. Tiek vėjo apkrovos, tiek ekvivalentinės horizontalios jėgos gali veikti bet kuria kryptimi, todėl lankstų atsiverimo vietos kiekvienoje rėmo pusėje yra apibrėžtos. [9]



3 pav. Simetriško portalinio rėmo, veikiamo nesimetriškai išdėstytoms apkrovoms, lenkimo momentų diagrama pagal plastiškąją analizę.

Tipinė lenkimo momentų diagrama gaunama atliekant tampriąją portalinio rėmo, atramose įtvirtinto šarnyriškai, analizę yra pavaizduota 4 pav. Šiuo atveju maksimalus lenkimo momentas (karnizuose) yra didesnis nei paskaičiuotas taikant plastiškąją analizę. Tiek kolonos, tiek flanšai turi būti suprojektuoti pagal šiuos didesnius lenkimo momentus. flanšai turėtų būti prailginti iki apytikriai 15% tarpatramio ilgio, kad prisitaikytų prie didesnio lenkimo momento. [6]



4 pav. Simetriško portalinio rėmo, veikiamo simetriškai išdėstytoms apkrovoms, lenkimo momentų diagrama pagal tampriąją analizę (10% tarpatramio ilgio juostos vaizduojamos ištisine linija; 15% - punktyrine linija)

1.4. NETOLYGUMAI

Rėmo netolygumai yra aprašomi EN1993-1-1 5.3.2. Bendroju atveju, rėmo netolygumai privalo būti modeliuojami. Rėmas gali būti modeliuojamas ne visai vertikalus arba, kaip alternatyva, ekvivalentinės horizontalios jėgos gali būti pridėtos, kad būtų sukurti netolygumai. Rekomenduojama naudoti ekvivalentines horizontaliasias jėgas, kadangi šis būdas yra paprastesnis. [9]

1.5. EKVIVALENTINĖS HORIZONTALIOS JĖGOS

Ekvivalentinių horizontalių jėgų (EHJ) naudojimas siekiant sukurti savaiminio svyravimo netolygumo efektą yra leidžiamas remiantis 5.3.2(7). Savaiminiai netolygumai yra aprašomi 1.5.1 formule, kur savaiminiai netolygumai ϕ (reiškiantys nukrypimą nuo vertikalios ašies) yra išreiškiami: [4]

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (1.5.1)$$

čia:

$$\phi_0 - \text{pastovi reikšmė } \phi_0 = 1/200 \quad (1.5.2)$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ tačiau } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad (1.5.3)$$

$$h - \text{konstrukcijos aukštis metrais} \quad (1.5.4)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (1.5.5)$$

m – kolonų, esančių vienoje eilėje skaičius – portaliniam rėmui kolonų skaičius viename rėme.

Vieno tarpatramio portaliniams rėmams h yra kolonos aukštis, o $m = 2$.

Konservatyvu yra primti $\alpha_h = \alpha_m = 1,0$.

EHJ gali būti apskaičiuotos dydį ϕ padauginus iš vertikalų reakcijų kolonų įtvirtinimo vietose (įtraukiant kranų apkrovas). EHJ yra pridamos horizontaliai ta pačia kryptimi kiekvienos kolonos viršūnėje. [15]

5.3.2(4) teigia, kad svyravimo netolygumai gali būti nevertinami kai $H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}$.

Rekomenduojama, kad ši sąlyga būtų patikrina palyginant visą horizontalią reakciją įtvirtinimo vietoje su visa vertikalia reakcija. Dauguma atvejų išraiška nurodyta 5.3.2 [9] duoda rezultata, kad EHJ nėra reikalingos apkrovų deriniuose, kuriuose yra įvertinti vėjo poveikiai. Tačiau, EHJ turi būti įtrauktos į derinius, kai veikia tik savasis svoris.

1.6. TAMPRIOJI ANALIZĖ

Tamprioji analizė yra plačiausiai taikomas metodas analizuojant konstrukcijas, tačiau taikant šį analizės tipą dažniausiai gaunami mažiau ekonomiškai portaliniai rėmai nei taikant plastišką analizę. EN 1993-1-1 leidžia naudoti plastinę skerspjūvio laikomąją galią su tampriosios analizės rezultatais, jeigu projektuojamas elementas yra 1 arba 2 skerspjūvio klasės. Be to, kaip apibrėžta EN 1993-1-1 5.4.1.4(B), 15% lenkimo momentų persiskirstymai yra leidžiami. [28]

Projektuotojai, kurie yra mažiau susipažinę su plieninių konstrukcijų projektavimu, gali būti nustebinti, kad plastinė laikomoji galia ir momentų persiskirstymas gali būti naudojamas atliekant tampriąją analizę. Vis dėlto, turi būti pabrėžta, kad praktikoje: [13]

- Dėl liekamųjų įtempių, elementų netolygumų, realių inercijų, kurios skiriasi nuo priimtų, realių mazgų standumų, kurie skiriasi nuo priimtų ir tobulų sujungimų nebuvimo tikrasis bet kurio rėmo lenkimo momentų persiskirstymas greičiausiai iš esmės skirsis nuo prognozuojamo pagal tampriąją analizę.
- 1 ir 2 klasės skerspjūviuose gali pasireikšti tam tikri plastiški pasisukimai prieš atsirandant reikšmingam laikomosios galios sumažėjimui dėl vietinio klupimo. Tai pateisina 15% lenkimo momentų persiskirstymą lyginant su lenkimo momentais gautais atliekant tampriąją analizę. [13]

Taigi, tampriosios analizės rezultatai turėtų būti laikomi teisingais tik pagrįstai realiai vidinių jėgų sistemai, kuri yra pusiausvyro būsenoje veikiant tam tikroms apkrovoms.

Portaliniame rėme iki 15% lenkimo momento gali persikirstyti smailiame sienutės gale jeigu lenkimo momentas viršija juostos plastinę laikomąją galią ir momentai bei jėgos sukeltos persiskirstymo gali būti perimtos kitų rėmo elementų. Kaip alternatyva, jeigu lenkimo momentas portalinio rėmo tarpatriamio viduryje viršija juostos plastinę laikomąją galią, šis momentas gali būti sumažintas iki 15% įvykstant persiskirstymui su sąlyga, kad likusi konstrukcijos dalis gali perimti momentus ir jėgas sukeltus persiskirstymo. [19]

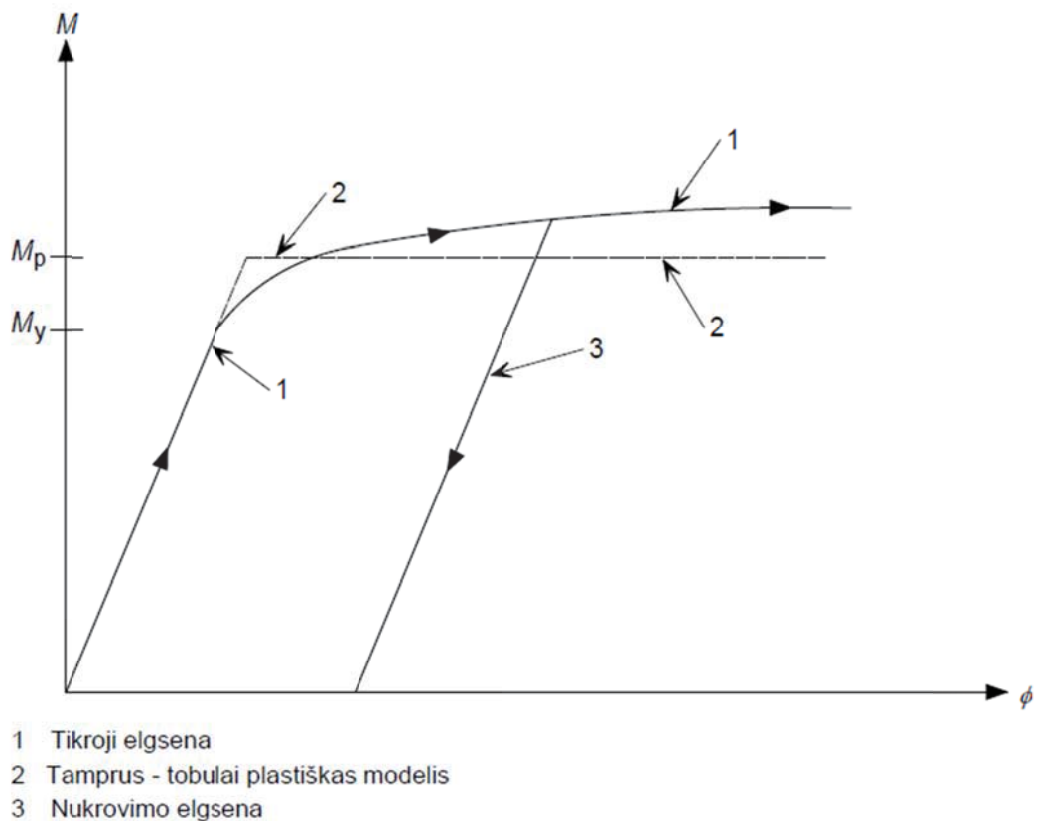
Jei taikant tampriąją analizę gaunama, jog lenkimo momentas tam tikrame taške viršija plastinį atsparumo momentą, minimalus momentas tame taške po persiskirstymo turi būti plastinis atsparumo momentas. To esmė yra užtikrinti, kad plastinis lankstas gali atsiverti bet

kuriame taške. Leisti sumažėjimą žemiau plastinės laikomosios galios ribos būtų nelogiška ir tai galėtų sukelti pavojingas prielaidas elementų klupimo laikomosios galios skaičiavimuose. [20]

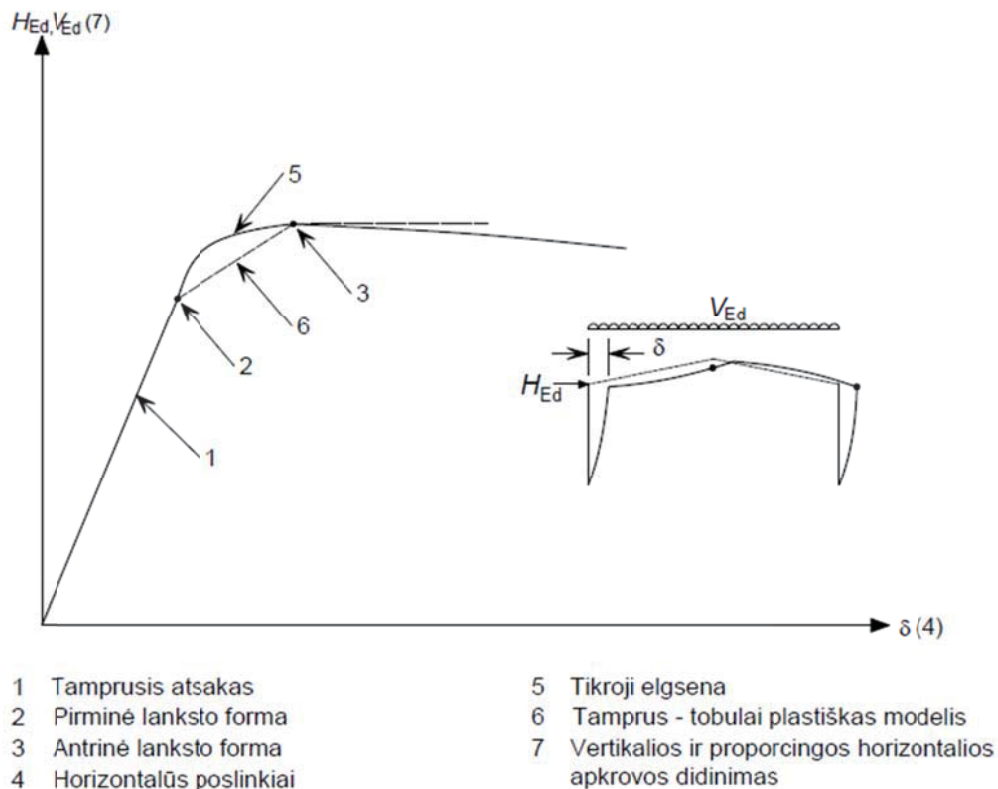
1.7. PLASTIŠKOJI ANALIZĖ

Plastiškoji analizė nėra plačiai naudojama Europoje, nors šis analizės tipas yra tinkamai pagrįstas metodu. Tačiau plastiškoji analizė yra naudojama projektuojant daugiau nei 90% portalinių konstrukcijų Jungtinėje Karalystėje ir yra plačiai taikoma jau daugiau nei 40 metų.

Tradicškai, rankiniai skaičiavimo metodai buvo naudojami taikant plastiškąją analizę (dar vadinami grafiniu metodu arba virtualaus darbo metodu). Šie rankiniai metodai nėra aptariami šiame darbe, nes plastiškoji analizė dažniausiai atliekama taikant kompiuterines programas, kurios daugiausiai paremtos tampriuoju – tobulai plastišku metodu. Šio metodo principas yra iliustruotas 5 ir 6 paveiksluose.



5 pav. Momentų ir posūkio priklausomybė pagal tampriąją – tobulai plastiškąją modelį 1 klasės skerspjūviui [9]



6 pav. Paprastas modelis portaliniam rėmui, veikiamam didėjančioms vertikalios ir horizontalios apkrovoms, kai suirimas nulemiamas klupimo. [9]

Tamprusis – tobulai plastiškas modelis pavaizduotas 5 pav. daro prielaidą, kad elementai deformuojasi kaip tiesūs tamprūs elementai tol kol veikiantis momentas pasiekia pilną plastinį momentą M_p . Tolimesnė elgsena yra laikoma kaip tobulai plastiška.

Pagal tampriąją – tobulai plastišką analizę apkrova yra pridedama mažais žingsniais įterpiančiais plastinius lankstus bet kuriame skerspjūvyje, kur pasiekiamas pilnas plastinis momentas M_p kaip pavaizduota 6 pav. Jeigu kompiuterinė programa yra naudojama, yra galimybė numatyti lankstus, kurie atsiranda, pasisuka, tuomet nusikrauna ir procesas kartojasi. Galutinis mechanizmas bus tikrasis suirimo mechanizmas ir bus identiškas mažiausiam apkrovos faktoriaus mechanizmui, kuris gali būti gautas taikant standųjį – plastinį metodą. [9]

Tamprusis – tobulai plastiškas metodas turi tokius privalumus:

- Tikrasis suirimo pobūdis yra identifikuojamas.
- Visi plastiniai lankstai yra identifikuojami, įskaitant bet kuriuos, kurie gali atsirasti ir nusikrauti. Tokie (trumpalaikiai) lankstai neatsirastų galutinėje suirimo stadijoje, tačiau vis tiek būtų apibrėžti.

- Lankstai atsirandantys veikiant apkrovoms didensėms nei saugos ribinio būvio apkrovoms gali būti identifikuoti. Tokie lankstai neturi būti apibrėžti kadangi konstrukcija gali būti veikiamą tik saugos ribinio būvio apkrovoms. Tai gali duoti ekonomiško konstrukcijoms, kuriose elementų laikomoji galia yra didesnė nei reikalinga ir jie parenkami pagal veikiančius įlinkius, kurie turi tenkinti ribinius įlinkius.
- Tikroji lenkimo momentų diagrama suirimo stadijoje arba bet kurioje stadijoje iki suirimo gali būti identifikuota.

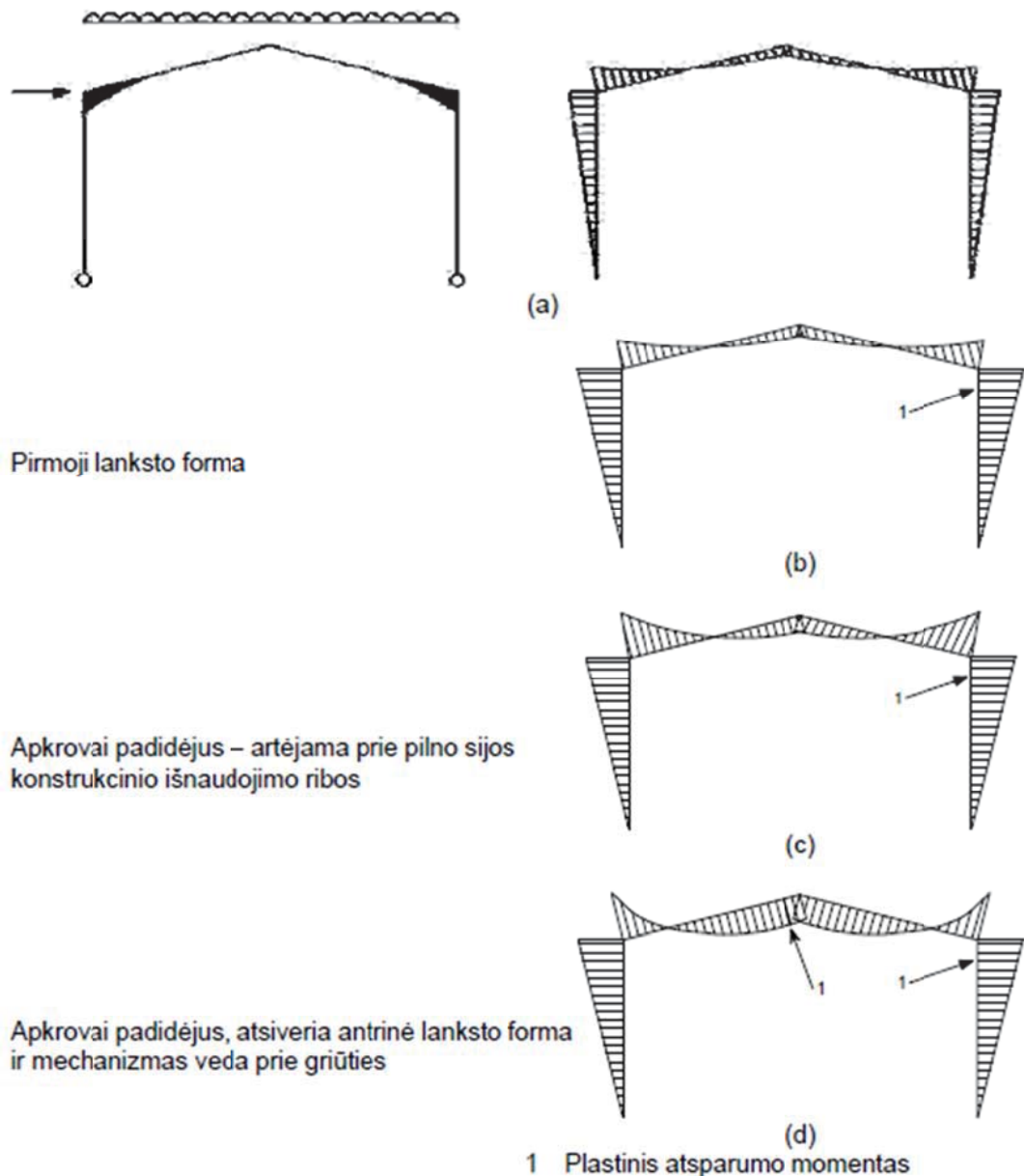
1.8. TAMPRIOSIOS IR PLASTIŠKOSIOS ANALIZĖS PALYGINIMAS

Kaip aprašyta 1.1. skyriuje plastiškoji analizė bendruoju atveju lemia labiau ekonomiškas konstrukcijas, nes plastiškas persiskirstymas leidžia mažesniems elementams atlaikyti tas pačias apkrovas. Rėmams, analizuojamiems plastiškai, juostų ilgiai bendruoju atveju siekia 10% tarpatramio ilgio. [20]

Tais atvejais kai elementų parinkimą nulemia įlinkio ribojimai nėra pranašumo naudojant plastiškąją analizę saugos ribinam būviui. Jeigu standesni skerspjūviai yra parenkami tam, kad būtų tenkinami įlinkio reikalavimai, gali būti, kad plastiniai lankstai neatsiras ir rėmas išliks tamprus saugos ribiniame būvyje.

Plastinės analizės ekonomiškas taip pat priklauso nuo ryšių sistemos, kadangi plastiniai persiskirstymai sukelia papildomus reikalavimus ryšių elementams kaip aprašyta 3.7. sk. (rėmo svyravimai) Galutinis rėmo ekonomiškas gali priklausyti nuo rėmo suvaržymo laisvumo. [17]

Plastiškoji analizė turėtų būti taikoma tik jei komercinė programinė įranga yra prieinama. Sudėtingesės kompiuterinės programos iš karto atlieka antros eilės tampriąją – plastiškąją analizę ($P - \Delta$), palengvindamos projektavimo procesą. Tampriosios – plastiškosios analizės projektavimo programos leidžia nesunkiai pritaikyti pilnai plastinę analizę. Skerspjūvio 1 klasės apribojimas, kuris reikalingas potencialių plastinių lankstų atsiradimo vietose, nėra reikšmingas.[10]



7 pav. Tamprusis – tobulai plastiškasis analizės metodas, parodantis rėmo, veikiamo proporcingai didėjančios horizontalios ir vertikalios apkrovos, būseną: (a) Tik tamprioje stadijoje; (b) Plastinis lankstas ties karnizu; (c) juostos pasiekia plastiškumo būseną; (d) Plastinis lankstas ties kraigu [6]

Yra pastebėta, kad tam tikra momentų persiskirstymas yra galimas net ir taikant tamprųjų projektavimą. EN 1993-1-1 5.4.1.4(B) leidžia 15% persiskirstymą, kaip aprašyta 3.2.2. sk., tačiau tai nėra įprastai taikoma praktikoje. [28]

Kur juostų ilgiai lygūs apie 15% tarpatramio ilgio yra priimtini ir šoninė apkrova yra maža, tamprioji lenkimo momentų diagrama bus beveik tokia pati kaip plastinio suirimo lenkimo momentų diagrama. Kaip pavaizduota 7 pav. maksimalus neigiamas lenkimo momentas juostos gale yra panašus kaip maksimalus teigiamas lenkimo momentas kraige.

Tokiais atvejais tamprioji analizė gali pateikti ekvivalentinį sprendinį plastiškai analizuojamam rėmui. [9]

1.9. PIRMOS IR ANTROS EILĖS ANALIZĖ

Tiek plastiškos, tiek tampriosios rėmo analizės atveju, pirmos arba antros eilės analizės pasirinkimas gali būti nulemtas rėmo lankstumo to rėmo plokštumoje, apibrėžto dydžiu α_{cr} . Praktikoje, pasirinkimas tarp pirmos ir antros eilės analizės taip pat priklauso nuo kompiuterinės programos prieinamumo. Net jeigu portalinis rėmas yra pakankamai standus tam, kad antros eilės poveikiai būtų pakankamai maži ir galėtų būti ignoruojami, gali būti prasminga naudoti antros eilės analizės kompiuterinę programą. [14]

Kai antros eilės analizė yra reikalinga, tačiau nėra galimybės ją atlikti, modifikuoti pirmos eilės metodai gali būti panaudoti skaičiavimuose. Modifikuoti pirmos eilės metodai šiek tiek skiriasi nuo tampriosios ir plastiškosios analizės ir yra aprašyti skyriuose 1.6 ir 1.7. Tampriosios analizės atveju, horizontalūs poveikiai yra sustiprinti; plastiškosios analizės atveju visi poveikiai yra sustiprinti. [18]

1.9.1. MODIFIKUOTI PIRMOS EILĖS POVEIKIAI TAMPRIOSIOS RĖMO ANALIZĖS ATVEJU

„Padidinto svyravimo momento metodas“ yra paprasčiausias metodas, leidžiantis pasireikšti antros eilės poveikiams tampriojoje rėmo analizėje. Šio metodo principas yra pateiktas EN 1993-1-1 5.2.2(5B). [28]

Visų pirma yra atliekama pirmos eilės tiesinė tamprioji analizė; tuomet visos horizontalios apkrovos yra padidinamos pritaikant didinimo faktorių, kad būtų leidžiama pasireikšti antros eilės poveikiams. Horizontalios apkrovos sudaro išorines apkrovas, tokias kaip vėjo apkrovos arba ekvivalentinės horizontalios jėgos, kurios naudojamos rėmo netolygumams modeliuoti. [13]

1.9.2. MODIFIKUOTI PIRMOS EILĖS POVEIKIAI PLASTIŠKOSIOS RĖMO ANALIZĖS ATVEJU

Jei nėra prieigos prie tampriosios – plastiškosios antros eilės analizės kompiuterinės programos, projektavimo filosofija yra nustatyti apkrovas, kurios yra padidintos, kad būtų įvertinta deformuota geometrija (antros eilės poveikių efektai). Šių padidintų apkrovų taikymas pirmos eilės analizėje leidžia nustatyti lenkimo momentus, ašines jėgas ir skersines jėgas, kurios gautos apytiksliai įvertinant antros eilės poveikius. [8]

Padidininimas yra apskaičiuojamas naudojant Merchant-Rankine metodą. Kadangi plastiškoje analizėje plastiniai lankstai riboja lenkimo momentus, kuriuos atlaiko rėmo elementai, padidininimas yra vykdomas visiems poveikiams, kurie yra nagrinėjami pirmos eilės analizėje (t.y. visi poveikiai – ne tik horizontalios apkrovos). [9]

Merchant-Rankine metodas sugrupuoja rėmus į dvi kategorijas:

- A kategorija: įprasti, simetriški rėmai;
- B kategorija: rėmai, kurie nepatenka į A kategoriją, išskyrus surištus portalinius rėmus.

Skirtingas didinimo faktorius turi būti naudojamas rėmams iš aukščiau pateiktų kategorijų. Merchant-Rankine metodas yra patikrintas rėmams, kurie tenkina šias sąlygas:

1. Rėmams, kuriesms $\frac{L}{h} \leq 8$ esant bet kokiam tarpatramiui;
2. Rėmams, kuriems $\alpha_{cr} \geq 3$.

1.10. SKERSPJŪVIŲ KLASIFIKACIJA

Konstrukcijos elementų elgseną ir skaičiavimo metodus pirmiausia lemia elementų skerspjūvių elgsena. Vieniems skerspjūviams dėl jų dalių (sienelės, juostų ar pan.) standumo gali būti leidžiamos plastinės deformacijos, kitų skerspjūvių dalys yra gana liaunos ir gali netekti vietinio pastovumo jau tamprios būklės. Siekiant apibūdinti skerspjūvių elgseną, esant įvairiam įtempių būviui, visi skerspjūviai Eurokode 3 grupuojami į keturias skerspjūvių klases. Skerspjūvio priklausomybę vienai ar kitai skerspjūvio klasei lemia plieno stipris pagal takumo ribą ir skerspjūvio dalių pločio ir storio santykis. [12]

Skerspjūvių klasės apibūdinimos taip:

- Pirmos klasės skerspjūviai – tai skerspjūviai, kurie gali sudaryti analizei pagal plastiškąjį modelį reikiamą sukamosios gebos plastinį lankstą, kai bendroji galia nesumažėja;
- Antros klasės skerspjūviai – tai skerspjūviai, kurie pasiekia savo plastinę lenkiamąją galią, tačiau dėl vietinio klupumo jų sukamoji geba yra ribota;
- Trečios klasės skerspjūviai – tai skerspjūviai, kuriuose įtempiai plieninio elemento kraštiniame gniuždomame sluoksnyje, kai daroma tampriojo įtempių pasiskirstymo prielaida, gali pasiekti stiprį pagal takumo ribą, tačiau vietinis klupumas neleidžia pasiekti plastinės lenkiamosios galios;

- Ketvirtos klasės skerspjuviai – tai skerspjuviai, kuriuose vietinis klumpas įvyksta prieš pasiekiant stiprį pagal takumo ribą vienoje ar daugiau skerspjuvio dalių.

Pirmos klasės skerspjuviuose gali būti pasiektas tekėjimas visame skerspjuvyje gniuždymo, lenkimo ir lenkimo gniuždymo atvejais ir gali būti naudojami projektuojant plastines konstrukcijas. Gniuždomomis dalimis laikomos visos dalys, kurios, veikiant nargrinėjamo derinio apkrovos, yra visiškai arba iš dalies gniuždomos. Antros klasės skerspjuviams, kaip ir pirmos klasės skerspjuviams, tekėjimas gali būti visame skerspjuvyje, tačiau, palyginti su pirmos klasės skerspjuviais, antros klasės skerspjuviai turi mažesnę sukamąją gebą. Trečios klasės skerspjuviuose dėl skerspjuvio dalių vietinio pastovumo leidžiamos tik tampriosios deformacijos, tad skerspjuvio laikomoji galia apskaičiuojama tamprios stadijos. Ketvirtos klasės skerspjuviams atskirose skerspjuvio dalyse leidžiamas vietinio pastovumo netekimas tamprios stadijos ir tai turi būti vertinama apskaičiuojant šių skerspjuvių laikomąją galią. Atkreipiame dėmesį, kad tam tikra skerspjuvių klasifikacija netiesiogine prasme jau buvo ir STR [26], pavyzdžiui, projektuojant kolonas su klupia sienele.

Pirma, antra ir trečia skerspjuvio klasės nustatomos remiantis 1 lentele. Skerspjuviai, kurių skerspjuvio dalys nepatenka ir į trečią klasei priskiriamoms skerspjuvio dalims, laikomi ketvirtos klasės skerspjuviais. Skerspjuvio klasė nustatoma atsižvelgiant į skerspjuvio dalių pločio ir storio santykį. 1 lentelė susideda iš trijų dalių. Pirmoji dalis skirta nustatyti, kokiai skerspjuvio klasei priklauso skerspjuvio vidinės gniuždomos dalys, antroji dalis – kokiai skerspjuvio klasei priklauso išsikišusios skerspjuvio dalys, ir trečioji dalis – kokiai skerspjuvio klasei priklauso kampuočių ir uždarų vamzdinių skerspjuvių dalys.

Nustatant skerspjuvio klasę plieno stiprio dydžio įtaka įvertinama dauginant skerspjuvio dalies ribinį pločio ir storio santykį iš dydžio ε , kuris apskaičiuojamas taip:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (1.10.1)$$

Čia f_y – stipris pagal takumo ribą, jo dimensija imama MPa.

Ketvirtos klasės skerspjuviai gali būti priskiriami trečios klasės skerspjuviams, jei konstrukcijos stabilumas tikrinamas taikant antros eilės skaičiavimo metodus ir taikant rėmų nuokrypas, taip pat skerspjuvio dalių pločio ir storio santykis yra mažesnis nei nurodyta trečiai klasei, kai dydis ε apskaičiuojamas taip:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \sqrt{\frac{f_y/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}} \quad (1.10.2)$$

Čia: γ_{M0} – dalinis bet kurios klasės skerspjūvių laikomosios galios koeficientas;

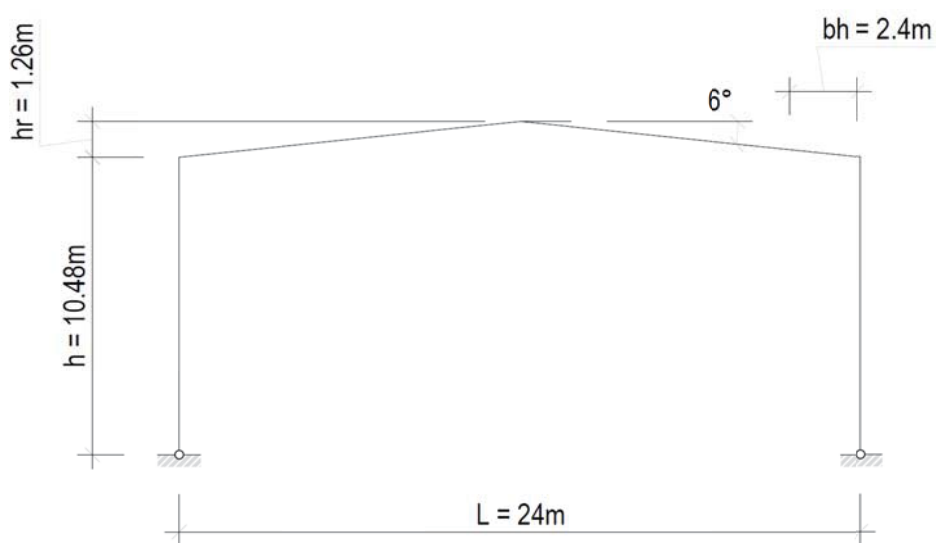
$\sigma_{com,Ed}$ – didžiausias skaičiuotinis gniuždomasis elemento įtempis.

Nustačius pagal 1 lentelę skerspjūvio dalių klases, viso skerspjūvio klasė nustatoma pagal aukščiausią (nepalankiausią) jo gniuždomų dalių klasę. Taip pat galima taikyti skerspjūvio klasifikaciją, kuri atskirai buvo nustatyta klasifikuojant tiek juostą, tiek sienelę.

2. TIRIAMOJO DARBO TAIKOMOJI DALIS

2.1. LAIKANČIŲJŲ KONSTRUKCJŲ SKAIČIAVIMAS

Skaičiuojamoji schema: Projektuojamo sandėlio pagrindinės laikančiosios konstrukcijos – portalinio rėmo skaičiuojamoji schema – dviejų lankstų (atramose), schema pateikiama žemiau:



8 pav. portalinio rėmo skaičiuojamoji schema – dviejų lankstų (atramose)

2.2. APKROVOS, POVEIKIAI, KLIMATINĖS SĄLYGOS.

2.2.1. KLIMATINIAI PARAMETRAI

I vėjo greičio rajonas STR 2.05.04:2003 „POVEIKIAI IR APKROVOS“; [24]

I sniego apkrovos rajonas STR 2.05.04:2003 „POVEIKIAI IR APKROVOS“; [24]

Klimatiniai duomenys projektuojamam pastatui nustatomi pagal RSN 1596-94 „Statybinė klimatologija“: [22]

- Vidutinė metinė temperatūra + 6,7 °C.
- Absoliutus oro temperatūros maksimumas +34,0 °C.
- Absoliutus oro temperatūros minimumas -36,2 °C.
- Šalčiausios paros vidutinė oro temperatūra -27 °C (92% integralinis pasikartojimas).
- Šalčiausio penkiadienio vidutinė oro temperatūra -22 °C (92% integralinis pasikartojimas).
- Santykinis oro metinis drėgnumas – 81 %.
- Vidutinis kritulių kiekis per metus – 683 mm.

Apkrovų dydžiai ir jų patikimumo koeficientai priimti pagal STR 2.05.04:2003.

Nuolatinės apkrovos patikimumo koeficientas priimtas $\gamma_G = 1,35$.

2.2.2. PASTATŲ PATIKIMUMAS IR PASKIRTIS

Konstrukcijų patikimumo koeficientas $\gamma_n = 0,95$. [22]

2.2.3. APLEDĖJIMO APKROVOS

Apledėjimo apkrovos, projektuojant pastatus ir statinius nepriimamos. [22]

2.2.4. SEISMINĖ APKROVA

Seisminiu požiūriu objektų kompleksas yra iki 6 balų pagal MSK skalę (Medvedjevo) žemės drebėjimų zonoje. Jokių papildomų konstrukcinių reikalavimų statiniams nėra.

2.2.5. APKROVOS STATYBOS METU

Statybos metu atsirandančios apkrovos nuo statybinių mechanizmų, medžiagų sandėliavimo ir kt. neturi viršyti apkrovų pagrindinių laikančių konstrukcijų, kurios betarpiškai veikia jas. [24]

2.2.6. ĮLINKIAI

Laikančiųjų konstrukcijų ribiniai įlinkiai ne didesni kaip nurodyta STR 2.05.04:2003. [24]

2.2.7. APKROVOS, LAIKANČIOSIOMS KONSTRUKCIJOMS:

Apkrovos ir poveikiai, bei jų patikimumo koeficientai priimami remiantis STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“, RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“. Visos laikančiosios konstrukcijos projektuotos nuolatinių ir kintamų poveikių nepalankiausiam deriniui. [22]

Saugos ribinis būvis tikrinamas:

$$E_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0i} Q_{k,i} \leq R_d; \quad (2.2.7.1)$$

Tinkamumo ribinis būvis:

$$E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0i} Q_{k,i} \leq C_d; \quad (2.2.7.2)$$

Koeficientai saugos ribiniam būviui:

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_Q = 1,30;$$

Koeficientai tinkamumo ribiniam būviui:

$$\gamma_G = 1,0;$$

$$\gamma_Q = 1,0.$$

2.2.8. SNIEGO APKROVA (SL)

I sniego apkrovos rajonas,

Pagal STR 2.05.04:2003 2 priedas; 1 lentelę; 1 variantą. Statiniai su dvišlaičiais stogais $\mu = 1,0$ [24]

Charakteristinė reikšmė - $1,2 \text{ kN/m}^2$;

$\gamma_Q = 1,30$; Skaičiuojamoji apkrova- $1,56 \text{ kN/m}^2$.

Sniego apkrova į stogo horizontaliąją projekciją nustatoma taikant išraišką pagal STR 2.05.04:2003, 4.1 išraišką:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k,$$

*čia:

$C_t = 1,0$ – terminis koeficientas, priklausantis nuo šilumos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos;

$C_e = 1,0$ – sniego apkrovos atodangos koeficientas.

μ_i – stogo sniego apkrovos formos koeficientas, kuris nustatomas sudarant sniego apkrovimo schemas statiniams su dvišlaičiais stogais $\mu = 1,0$, pagal STR 2.05.04:2003, 2 priedo 1 lentelę:

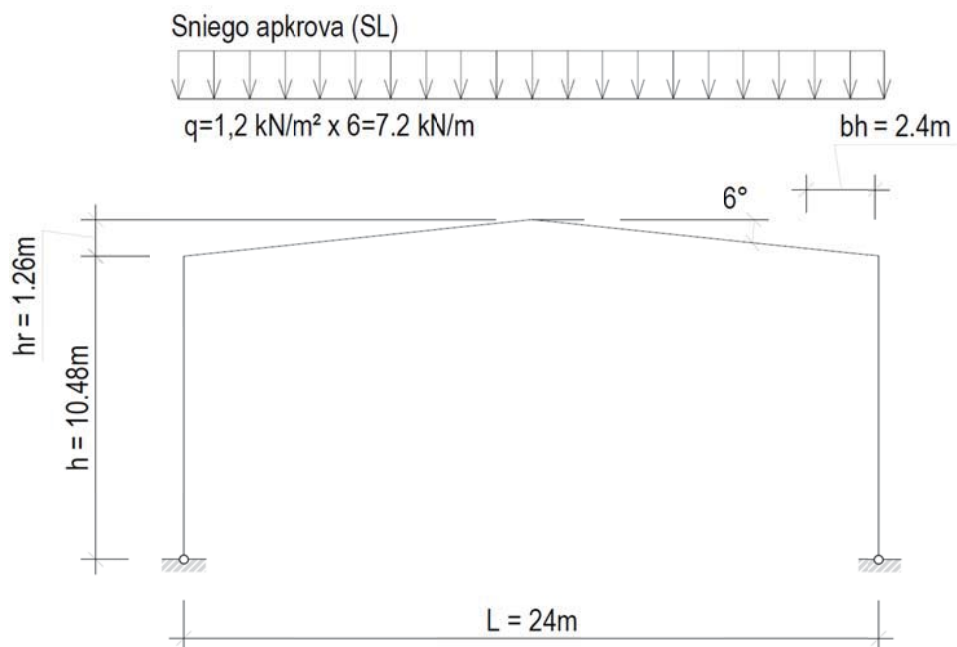
*čia koeficientai μ_i apskaičiuojami pagal STR 2.05.04:2003 2priedo 1 lentelę:

Apskaičiuojama charakteristinė sniego apkrova į horizontaliąją stogo projekciją:

$$S_1 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ kN/m};$$

Perskaičiuojama charakteristinė sniego apkrova į tiesinį metrą, kai atstumas tarp gretimų rėmų – $6,0 \text{ m}$:

$$S_1 = 1,2 \cdot 6,0 = 7,2 \text{ kN/m};$$



9 pav. Sniego apkrovų schema.

Apledėjimo apkrova, projektuojant pastatus ir statinius, neįvertinama. Kitų papildomų konstruktyvinių reikalavimų statiniui nėra.

2.2.9. VĖJO APKROVA (WL)

Apskaičiuojama vėjo apkrova veikianti konstrukciją. Vėjo apkrovos rajonas pagal STR 2.05.04:2003, 3 priedą – I aprkvos rajonas, kur vėjo greičio pagrindinė atskaitinė charakteristinė reikšmė: [24]

$$v_{ref,0} = 24,0 \text{ m/s.}$$

$$\gamma_Q = 1,30; \text{ Skaičiuojamoji apkrova- } 0,468 \text{ kN/m}^2.$$

Vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius, pagal STR 2.05.04:2003, dedamoji apskaičiuojama, taikant 12.1 išraišką:

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e,$$

kur:

$c(z) = 1,0$ – koeficientas, priklausantis nuo vietovės reljefo tipo ir aukščio nuo žemės paviršiaus. Koeficientas nustatomas pagal to paties reglamento 12.1 lentelę 10 m aukščio pastatams, stovintiems A kategorijos vietovėse.

c_e – išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas, nustatomas pagal STR 2.05.04:2003, 4 priedo 1 lentelę (statiniams su dvišlaičiais stogais). $c_{e1} = 0,7$; $c_{e2} = -1,2$. Vėjo apkrovimo schema ir koeficientų c_e pasiskirstymas pateiktas žemiau;

q_{ref} – vėjo atskaitinis slėgis, nustatomas pagal STR 2.05.04:2003 reglamento 12.4 išraišką: [24]

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 24,0^2 = 0,36 \text{ kPa} \quad (2.2.9.1)$$

kur: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – oro tankis; $v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24,0 = 24,0 \text{ m/s}$ – atskaitinis vėjo greitis, nustatomas pagal 2.05.04:2003 reglamento 12.5 išraišką, kur: $c_{DIR} = 1,0$ – krypties koeficientas; $c_{TEM} = 1,0$ – laikotarpio (sezono) koeficientas; $c_{ALT} = 1,0$ – aukščio virš jūros lygio koeficientas.

Apskaičiuojama charakteristinė vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius dedamosios reikšmė visiems trims ruožams:

Pastato aukštis $h = 11,74 \text{ m}$, plotis $b = 24 \text{ m}$. Stogas dvišlaitis, šlaito kampas $6,0^\circ$.

Vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė I vėjo greičio rajonui (žr. 33 pav.) $v_{ref,0} = 24 \text{ m/s}$ (žr. 16 lentelę).

Vakarų vėjo kryptčiai krypties koeficientas $c_{DIR} = 1,0$, aukščio virš jūros lygio koeficientas $c_{ALT} = 1,0$, laikotarpio koeficientas $c_{TEM} = 1,0$.

Atskaitinė vėjo greičio reikšmė bus

$$v_{\text{ref}} = C_{\text{DIR}} \cdot C_{\text{ALT}} \cdot C_{\text{TEM}} \cdot v_{\text{ref},0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24 = 24 \text{ m/s} \quad (2.2.9.2)$$

Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref}

$$q_{\text{ref}} = v_{\text{ref}}^2 \cdot \rho / 2 = 24,0^2 \cdot 1,25 / 2 = 360 \text{ N/m}^2 = 0,36 \text{ kN/m}^2. \quad (2.2.9.3)$$

Koeficientas, įvertinantis vėjo slėgio pokytį pagal aukštį, B tipo vietai (žr. 59 p.):

$$\text{kai } z \leq 5 \text{ m, } c(z) = 0,5;$$

$$\text{kai } z = 6 \text{ m, } c(z) = 0,53.$$

$$\text{kai } z = 10,0 \text{ m, } c(z) = 0,664.$$

Išorinio slėgio aerodinaminiai koeficientai (žr. [4] priedo 1 lentelę) c_{e1} , c_{e2} reikšmės, kai h_1/l lygus

$$10,8/54,0 = 0,198$$

$$c_e = 0,8,$$

$$c_{e1} = -0,198,$$

$$c_{e2} = -0,4,$$

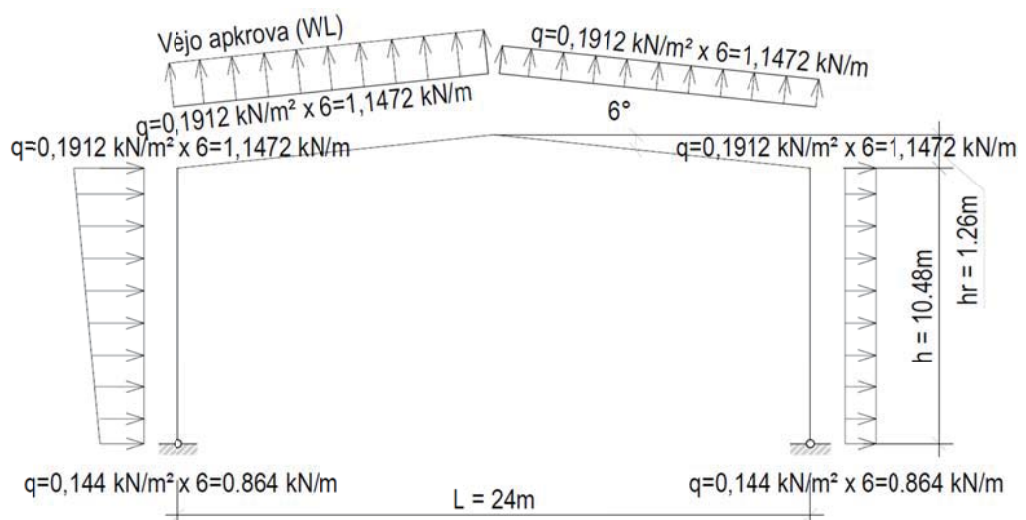
$$c_{e3} = -0,4 \text{ (žr. [4] priedo 1 lentelės 2 schemą)}$$

Slėgio į išorinį šoninį paviršių vidutinė dedamoji w_{me} :

$$\text{iki } 5 \text{ m aukščio } w_{me} = q_{\text{ref}} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,144 \text{ kN/m}^2;$$

$$10,0 \text{ m aukštyje } w_{me} = q_{\text{ref}} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \cdot 0,664 \cdot 0,8 = 0,1912 \text{ kN/m}^2;$$

Į portalinį rėmą, kuris išdestytas kas 6,0 m: $0,144 \times 4 = 0,576$ ir $0,1912 \times 4 = 0,7640$ priimam $0,1912 \text{ kN/m}$ analogiškai skaičiuojamos c_{e1} c_{e2} c_{e3} reikšmės.



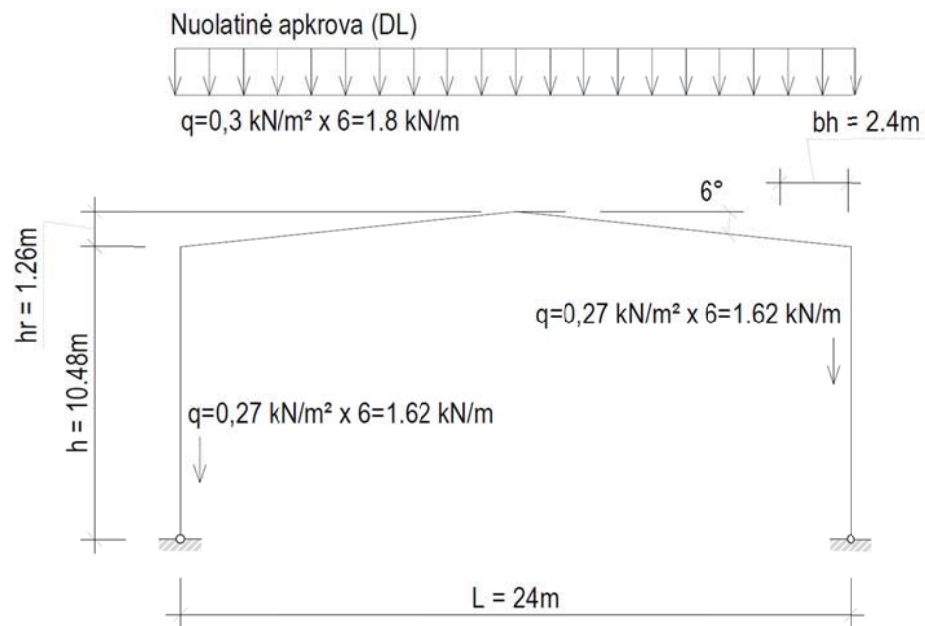
10 pav. Vėjo apkrovų schema.

2.2.10. NUOLATINĖ APKROVA (DL)

Nuolatinę apkrovą sudaro: konstrukcijų nuosavas svoris – skaičiavimo schemoje parodytų konstrukcijų svoris ir pastovi (nuolatinė) apkrova nuo skaičiavimo schemoje neparodytų konstrukcijų. Pastato stogo ir sienų aptaisymui naudojamos lengvos daugiasluoksnės plokštės su užpildais (anglų k. Sandwich panels). denginio plokščių storis 200 mm, jų savasis svoris $\gamma = 0,30 \text{ kN/m}^2$. sienų plokščių storis 190 mm, jų savasis svoris $\gamma = 0,27 \text{ kN/m}^2$. plieniniai rėmai nagrinėjamame pastate išdėstyti 6,0 m žingsniu. stogo ir sienų plokščių apkrova tenkanti vienam rėmui [24]

$$g_{k, \text{ roof}} = 6 \cdot 0,30 = 1,8 \text{ kN/m}'; \quad (2.2.10.1)$$

$$g_{k, \text{ wall}} = 6 \cdot 0,27 = 1,62 \text{ kN/m}'; \quad (2.2.10.2)$$



11 pav. Nuolatinė apkrovų schema.

2.2.11. NAUDOJIMO APKROVA (RL)

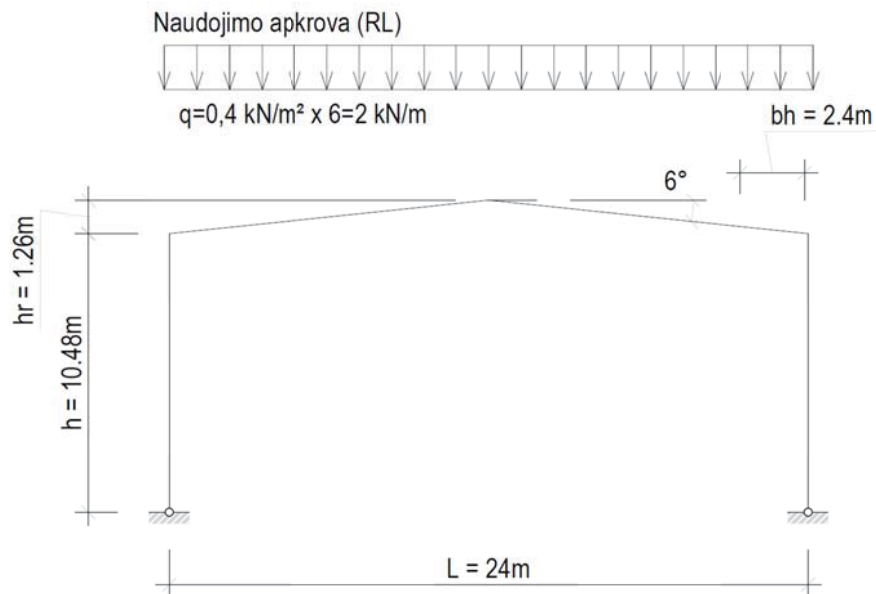
Pavyzdyje nagrinėjamo pastato stogas yra H kategorijos. Tokiems stogams naudojimo apkrovos: [24]

$$q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2 \text{ ir } Q_k = 1,1 \text{ kN}. \quad (2.2.11.1)$$

Stogus reikia atskirai patikrinti, nepriklausomai veikiančių, koncentruotos Q_k apkrovos ir tolygiai paskirstytos q_k apkrovos atžvilgiu. Koncentruotoji Q_k apkrova vertinama tikrinant

stogo vietinę laikomąją galią. Skaičiuojant pastato plieninį rėmą vertinama naudojimo tolygiai paskirstyta q_k apkrova:

$$q_k = 6 \cdot 0,4 = 2,4 \text{ kN/m'}$$



12 pav. Naudojimo apkrovų schema.

2.2.12. APKROVŲ DERINIAI

Prenkami poveikių derinimo koeficientai pagal STR 2.05.04:2003

Statinių sniego apkrovos – 0,5;

Statinių vėjo apkrova – 0,6;

Apskaičiavus apkrovų reikšmes, sudaromi įvairūs apkrovų deriniai su aprašytais apkrovų tipais. Derinamos tik tos apkrovos, kurios įmanomos fiziškai veikti kartu. Naudojant apkrovų patikimumo ir apkrovų derinimo koeficientus yra sudaromi apkrovų deriniai. [27]

I derinys: $1,35 \times DL + 1,3 \times RL$;

II derinys: $1,35 \times DL + 1,3 \times 0,6 \times WL + 1,3 \times SL$;

III derinys: $1,35 \times DL + 1,3 \times WL + 1,3 \times 0,5 \times SL$;

IV derinys: $1,35 \times DL + 1,3 \times SL$;

čia DL – konstrukcijų savasis svoris; RL – naudojimo apkrova ant stogo;

SL – sniegas; WL – vėjas.

3. KONSTRUKCIJŲ STATINIAI SKAIČIAVIMAI

3.1. AIŠKINAMASIS RAŠTAS

Skersine pastato kryptimi konstrukcijų pastovumą užtikrina plieninis rėmas, kuris kartu su kolonomis užtikrina viso karkaso pastovumą šią kryptimi, laiko vėjo slėgį į išilginę pastato sieną. Vertikalūs ryšiai prie kolonų prijungiami varžtais. Stogo denginį sudaro lengvos daugiasluoksnės plokštės su užpildais (anglų k. Sandwich panels), kurios tvirtinamos prie plieninių ramsių. Rėmų kolonos gaminamos iš plieninių karšto valcavimo konstrukcinio dvitėjinio IPE profilių. Pastato sijos gaminamos iš konstrukcinio dvitėjinio IPE, tipo profilių. Pastato gaminius ir detales būtina gaminti gamykloje. Detales pagal brėžinius sužimėti (sumarkiruoti) ir suvirinti šablonuose, sujungti į gaminius. Suvirinimo būdas automatinis arba pusiau automatinis. Visas pastato laikančių konstrukcijų (elementų) plienas S355J2 markės. Suvirinus, sujungus gaminius, atlikti suvirintų gaminių kontrolinį surinkimą. Konstrukcijų dažymas atliekamas pagal C2 kategoriją. Transportuojant gaminius, jų nesulankstyti, nepažeisti dažų sl. Objekte konstrukcijos surenkamos ir montuojamos.

3.2. SKERSPJŪVIŲ SAVYBĖS

Kolonos skerspjūvis: IPE 550 S355J2

Skerspjūvių savybės:

$$h = 550 \text{ mm}$$

$$b = 210 \text{ mm}$$

$$t_w = 11.1 \text{ mm}$$

$$t_f = 17.2 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$h_w = 515,6 \text{ mm}$$

$$A = 134,4 \text{ cm}^2$$

$$W_{el,y} = 2441 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2787 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 67120 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2668 \text{ cm}^4$$

$$I_T = 123.2 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 1884 \text{ cm}^6$$

$$i_y = 22.35 \text{ cm}$$

$$i_z = 4.45 \text{ cm}$$

$$d = 467.6 \text{ cm}$$

Todėl, kad $t_f > 16 \text{ mm}$, $f_y = 345 \text{ N/mm}^2$

Sijos skerspjūvis: IPE 500 S355J2

Skerspjūvių savybės:

$$h = 500.00 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$A = 115.5 \text{ cm}^2$$

$$W_{el,y} = 1928 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 48200 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 10.2 \text{ mm}$$

$$t_f = 16.0 \text{ mm}$$

$$r = 21.0 \text{ mm}$$

$$h_w = 468 \text{ mm}$$

$$I_z = 2140 \text{ cm}^4$$

$$I_T = 89.29 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 1249 \text{ cm}^6$$

$$i_y = 20.43 \text{ cm}$$

$$i_z = 4.41 \text{ cm}$$

$$d = 426 \text{ cm}$$

Todėl, kad $t_f > 16 \text{ mm}$, $f_y = 345 \text{ N/mm}^2$

3.3. PORTALINIO RĖMO ĮRAŽŲ SKAIČIAVIMAS IR PIRMINĖ ANALIZĖ

Pirminė analizė reikalinga norint nustatyti, ar naudojant pasirinktus skerspjūvius rėmas yra jautrus antraeiliamas veiksniams.

Įrašų skaičiavimas:

Įrašos skaičiuojamos kompiuterine programa „DLUBAL RFEM“, skaičiavimo duomenys pateikti baigiamojo darbo prieduose. Statiniui naudojamas statiškai neišsprendžiamas rėmas.

Apskaičiuojame statiškai neišsprendžiamo plieninio rėmo kolonų ir sijų įrašas (ašinės jėgos ir lenkimo momentus). Įrašos yra skaičiuojamos atskirai nuo kiekvienos rūšies apkrovų derinio:

I derinys: $1,35 \times \text{DL} + 1,3 \times \text{RL}$;

II derinys: $1,35 \times \text{DL} + 1,3 \times 0,6 \times \text{WL} + 1,3 \times \text{SL}$;

III derinys: $1,35 \times \text{DL} + 1,3 \times \text{WL} + 1,3 \times 0,5 \times \text{SL}$;

IV derinys: $1,35 \times \text{DL} + 1,3 \times \text{SL}$;

čia DL – konstrukcijų savasis svoris; RL – naudojimo apkrova ant stogo;

SL – sniegas; WL – vėjas.

Pirminės analizės rezultatai pateikiami lentelėje 1. Bazinės reakcijos kairiame ir dešiniame stulpelyje 4 derinyje (L ir R indeksas) skiriasi, dėl asimetriškų vėjo poveikių įtrauktų į šį derinį.

1 lentelė. Apkrovų deriniai

Apkrovų deriniai	Atraminės reakcijos				Ašinės jėgos į siją (kN)
	$F_{V,L}$	$F_{V,R}$	$F_{H,L}$	$F_{H,R}$	N_{ED}
I Derinys	-196,16	-196,16	-51,42	51,42	-72,42
II Derinys	-184,19	-191,86	-40,91	56,19	-68,35
III Derinys	-203,52	-210,00	-48,36	61,10	-76,77
VI Derinys	-42,24	-53,90	6,78	18,69	-8,90

3.4. ANTROS EILĖS POSLINKIŲ ĮVERTINIMAS

Tam, kad įvertintume rėmo geometrijos deformacijas reikia apskaičiuoti α_{cr} koeficientą. Jeigu α_{cr} yra didesnis už 10, antraeiliai veiksniai yra pakankamai maži ir gali būti nepaisomi.

EN 1993-1-1 siūlo nesudėtingą apytikslį būdą apskaičiuoti α_{cr} , tačiau šis metodas gali būti naudojamas tik tuomet kai stogo nuolydis yra mažesnis nei 26° ir ašinė gegninės sijos jėga nedidelė. [13]

3.5. SIJOS AŠINIS GNIUŽDYMAS

Ašinis gniuždymas yra reikšmingas, jei :

$\bar{\lambda} \geq 0.3 \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}}$, kurią pertvarkius galime parodyti, kad gniuždymas yra reikšmingas, jei

$$N_{Ed} \geq 0.09 N_{cr}.$$

N_{Ed} yra gniuždymo jėgos konstrukcinė vertė sijoje galutinėje ribinės pusiausvyros būklėje (RPB).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} \quad (3.5.1)$$

L_{cr} yra sijų ilgis tarp kolonų.

$$L_{cr} = \frac{24}{\cos 6^\circ} = 24,996m \quad (3.5.2)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 48200 \times 10^4}{(24,996 \times 10^3)^2} \times 10^{-3} = 1599 \text{ kN} \quad (3.5.3)$$

$$0.09N_{cr} = 0.09 \times 1599 = 143,91 \text{ kN} \quad (3.5.4)$$

$$N_{Ed} = -76,77 \text{ kN}, < 143,91 \text{ kN} \quad (3.5.5)$$

Todėl gauname, kad sijos ašinis gniuždymas nėra reikšmingas, ir tam, kad apskaičiuotume α_{cr} galime naudoti EN 1993-1-1 5.2 Formulę.

3.6. SKAIČIAVIMAS

Kadangi vertikalios apkrovos dominuoja apskaičiuotas horizontalias deformacijas karnizuose, EN 1993-1-1 5.2 formulė apskaičiuoti α_{cr} negali būti taikoma iškart.

Vienanaviam simetriniui rėmui apskaičiuoti α_{cr} , rekomenduojama ši formulė: [28]

$$\alpha_{cr} = \frac{h}{200 \times \delta_{NHF}} \quad (3.6.1)$$

kur:

h – yra karnizų aukštis;

δ_{NHF} – yra horizontali karnizų deformacija, veikiamą horizontalios jėgos kiekvino karnizo mazginiame taške, lygi 1/200 vertikalios bazinės reakcijos (factorated vertical base reaction).

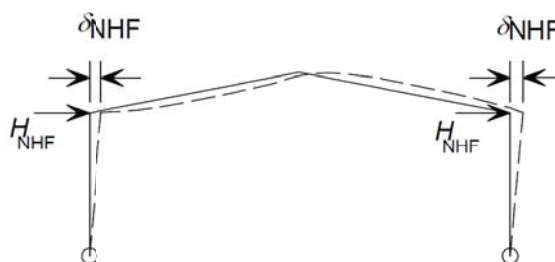
I Derinys:

Pirmajame derinyje, horizontali jėga, kiekvienos kolonos viršuje yra:

$$H_{NHF} = \frac{1}{200} F_V = \frac{1}{200} \times (-210) = -1.005 \text{ kN} \quad (3.6.2)$$

Vadovaujantis gairėmis, duotomis sutvirtintoms atramoms, imame, kad pagrindo standumas yra lygus 10% kolonos standumo.

Šiame pavyzdyje, sutvirtinta atrama yra sumodeliuota naudojant papildomą elementą, su inercija, nustatyta kaip 10% kolonos elemento, ir ilgiu, kuris yra lygus 75% kolonos ilgio. Šio papildomo elemento apačia yra pritvirtinta.



13 pav. Poslinkių schema. [9]

Veikiant šiai jėgai ir įvertinus pagrindo standumą, horizontali kolonos viršaus deformacija, gaunama iš elastinės analizės yra 7.9 mm.

$$\alpha_{cr} = \frac{h}{200 \times \delta_{NHF}} = \frac{10480}{200 \times 16,5} = 3,18 \quad (3.6.3)$$

Kadangi $\alpha_{cr} = 3,18 < 10$, negalime nepaisyti antraeilų veiksnių.

Antraeilius veiksnius galime apskaičiuoti, padidinant pirminės analizės rezultatus šiuo koeficientu:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{3,18}} = 1,46 \quad (3.6.4)$$

II derinys:

Antrajame derinyje,

$N_{Ed} = -68,35 \text{ kN}, < 143,91 \text{ kN}$, todėl ašinis sijos gniuždymas yra nereikšmingas.

Horizontali jėga kiekvienoje kolonoje yra:

$$H_{NHF} = \frac{1}{200} F_V = \frac{1}{200} \times -191,86 = -0,959 \text{ kN} \quad (3.6.5)$$

Iš elastingės analizės, įskaitant sutvirtintų atramų modeliavimą,

$$\delta_{NHF} = 45,0 \text{ mm} \quad (3.6.6)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{10480}{200 \times 45,0} = 1,16 \quad (3.6.7)$$

Kadangi $\alpha_{cr} = 1,16 < 10$, negalime nepaisyti antraeilų veiksmių.

Privalome padauginti pirminės analizės rezultatus koeficientu:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{1,16}} = 7,25 \quad (3.6.8)$$

III derinys:

Trečiajame derinyje,

$N_{Ed} = -76,77 \text{ kN}, < 143,91 \text{ kN}$, todėl ašinis sijos gniuždymas yra nereikšmingas.

$$\alpha_{cr} = 1,24 > 10 \quad (3.6.9)$$

VI derinys:

Ketvirtajame derinyje,

$N_{Ed} = -8,9 \text{ kN}, < 143,91 \text{ kN}$, todėl ašinis sijos gniuždymas yra nereikšmingas.

$\alpha_{cr} = 1,12 > 10$, todėl antraeiliai veiksniai gali būti nepaisomi.

α_{cr} apskaičiavimas specialia programine įranga:

Palyginimui, α_{cr} skaičiavimai taip pat buvo gauti naudojant DLUBAL specialią programinę įrangą, ju rezultatai pateikiami 2 lentelėje:

2 lentelė. Skaičiavimo metodų palyginimas

Skaičiavimo metodas	I derinys	II derinys	III derinys	VI derinys
Programinė įranga $\alpha_{cr} =$	12,1	12,8	14,1	3,5
Rankiniu būdu $\alpha_{cr} =$	3,18	1,16	1,24	1,12

Aukščiau pateiktas palyginimas parodo, kad rankiniai skaičiavimai yra tinkami pradinio projektavimo labiau kritinių derinių apskaičiavimui.

3.7. RĖMO SVYRAVYMAI

Pirminis savųjų svyravimų dažnis gaunamas iš: [9]

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (3.7.1)$$

$$\phi_0 = 1/200 \quad (3.7.2)$$

$$h = 10.48 \text{ m} \quad (3.7.3)$$

$$m = 2 \quad (3.7.4)$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10.48}} = 0,68 \text{ bet } \alpha_h > \frac{2}{3}, \text{ vadinasi } \alpha_h = 0,67 \quad (3.7.5)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,87 \quad (3.7.6)$$

$$\phi = \frac{1}{200} \times 0,67 \times 0,87 = 2,9 \times 10^{-3} \quad (3.7.7)$$

Pirminiai savieji svyravimai gali būti įtraukti į analizę, taikant ekvivalentiškas horizontalias jėgas (LHJ).

Savieji svyravimai gali būti nepaisomi, kai $H_{Ed} \geq 0.15V_{Ed}$

2 lentelė parodo visas atramines reakcijas, tam kad nustatyti H_{Ed} ir V_{Ed} pirmajame derinyje.

3 lentelė. Atraminės reakcijos

	Kairioji kolona (kN)		Dešinioji kolona (kN)		Suminė raktija (kN)		0.15V _{Ed} (kN)
	F _x	F _z	F _x	F _z	H _{xEd}	V _{zEd}	
Reakcijos	-48,36	-203,52	61,10	-210,00	12,74	-413,52	-62,03

$$H_{Ed} = 12,74 \text{ kN ir } 0.15 V_{Ed} = -62,03 \text{ kN} \quad (3.7.8)$$

Kadangi,

$H_{Ed} < 0.15 H_{Ed}$, pirmajame derinyje privalome atsižvelgti į pirminius savuosius svyravimus.

Ekvivalentiškos horizontalios jėgos yra vertinamos kaip projektavimo pagrindo vertikalios reakcijos dalis:

$$H_{EHF} = \phi V_{Ed} = 2.9 \times 10^{-3} \times (-210) = -0.61 \text{ kN} \quad (3.7.9)$$

Jėga veikia horizontaliai, kiekvienos kolonos viršuje, ta pačia kryptimi kartu su nuolatine ir kintama apkrova.

Galima įrodyti, kad ekvivalentiškos horizontalios jėgos taip pat privalo būti įtrauktos į antrąjį ir trečiąjį derinius. Ketvirtajame derinyje, pirminiai savieji svyravimai gali būti nepaisomi.

3.8. GALUTINIAI ANALIZĖS REZULTATAI

Apkrovos deriniams, kuriuose, α_{cr} yra mažesnis už 10, antraeiliai veiksniai privalo būti įvertinti. Šiame pavyzdyje naudojamas sustiprintas momento metodas; sustiprinimo koeficientai rodomi 4 lentelėje:

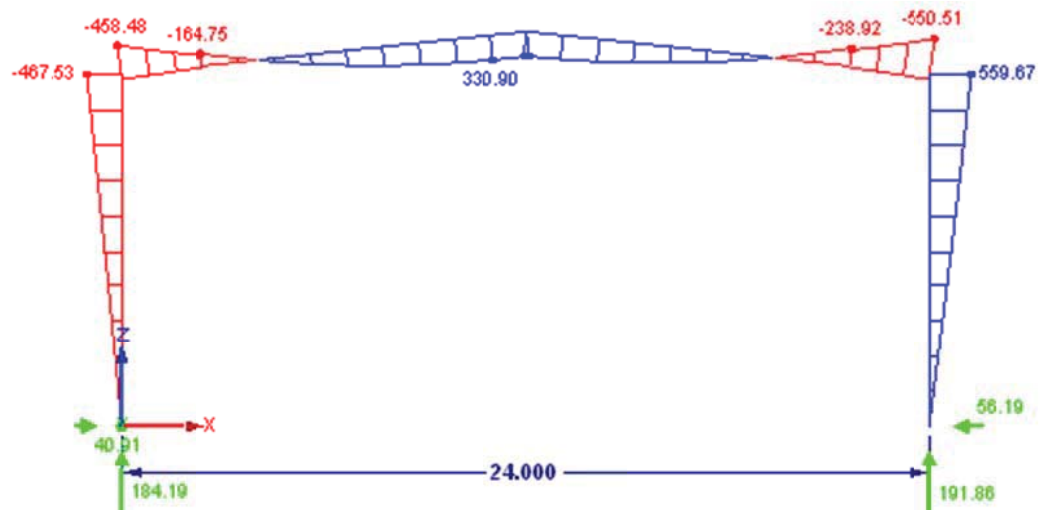
4 lentelė. Sustiprinimo koeficientai

Skaičiavimo metodas	I derinys	II derinys	III derinys	VI derinys
Suskaičiuotas $\alpha_{cr} =$	3,18	1,16	1,24	1,12
Stiprumo koef.	1,11	1,11	1,11	1,11

Toliau pateiktos diagramos parodo rėmo analizės rezultatus pirmajame ir antrajame deriniuose, įskaitant sutvirtinimus ir ekvivalentiškas horizontalias jėgas (LHJ).

16 pav. parodo lenkimo momento diagramą trečiajam deriniui, įskaitant LHJ.

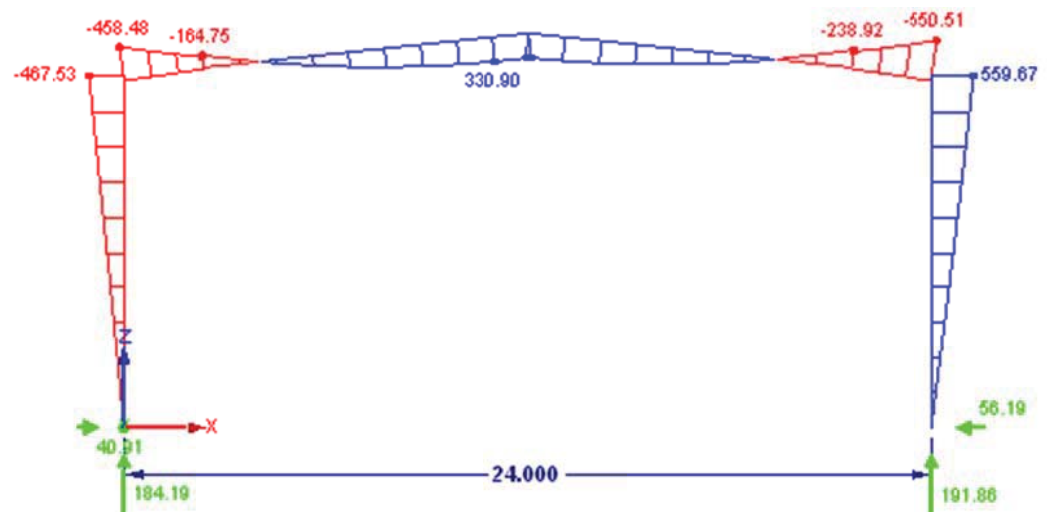
17 pav. parodo lenkimo momento diagramą ketvirtajam deriniui. Kadangi antraeiliai veiksniai yra pakankamai maži, kad galėtume jų nepaisyti, šiuo atveju LHJ galime netaikyti.



14 pav. I derinio schema.

atraminių reakcijų rezultatai pateikiami kN;

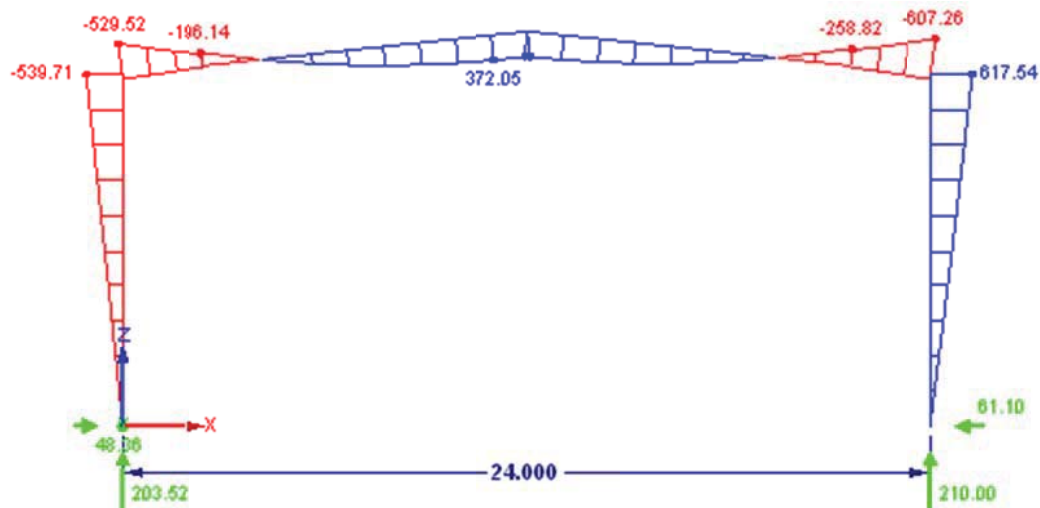
įrąžų rezultatai pateikiami kNm;



15 pav. II derinio schema.

atraminių reakcijų rezultatai pateikiami kN;

įrąžų rezultatai pateikiami kNm;

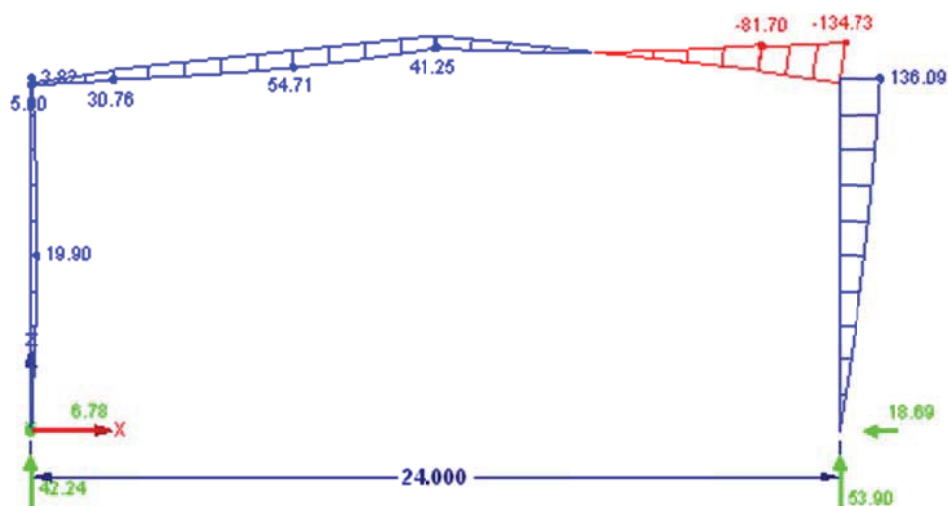


16 pav. III derinio schema.

sijos šlytis $V_{Ed} = 163,14kN$; sijos ašinė jėga $N_{Ed} = 78,02$;

atraminių reakcijų rezultatai pateikiami kN;

įrąžų rezultatai pateikiami kNm;



17 pav. VI derinio schema.

atraminių reakcijų rezultatai pateikiami kN;

įrąžų rezultatai pateikiami kNm;

3.9. RĖMO SKRESPJŪVIO TIKRINIMAS

Pjūvio tirinimas:

Prieš nustatant skerspjūvio atsparumą, pjūviai privalo būti patikrinti pagal EN 1993-1-1 5.5 Punktą. Toliau pateikti skaičiavimai parodo pjūvio klasifikaciją pavojingiausiam III deriniui, veikiant III derinio schemoje pateiktoms jėgoms ir momentams.

$Y_{M0} = 1.0$, paimta iš JK NA.

Kolonų sienutės pastovumas:

$$\frac{c}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,13 \quad (3.9.1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y t_w c} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{-210 \times 10^3}{345 \times 11,1 \times 467,6} \right) = 0,56 > 0,50 \quad (3.9.2)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{345}} = 0,83 \quad (3.9.3)$$

$$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0,83}{13 \times 0,56 - 1} = 52,34 \quad (3.9.4)$$

$$42,13 < 52,34 \quad (3.9.5)$$

Juostos klasifikacija:

$$c = 0,5 \times (210 - 11,1 - 2 \times 24) = 75,45 \text{ mm} \quad (3.9.6)$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{75,45}{17,2} = 4,39 \quad (3.9.7)$$

Klasės 1 riba yra: $9\varepsilon = 9 \times 0,83 = 7,47$

$$4,39 < 7,47 \quad (3.9.8)$$

Iš to gauname, kad juosta yra 1 Klasės.

Pjūvių klasifikacija:

Kadangi abu, sienutė ir juosta yra 1 klasės, kolonos pjūvis taip pat yra 1 Klasės.

Sijų pastovumas:

$$\frac{c}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,8 \quad (3.9.9)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y t_w c} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{-76,77 \times 10^3}{345 \times 10,2 \times 426} \right) = 0,53 > 0,50 \quad (3.9.10)$$

Klasės 1 riba yra:

$$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0,83}{13 \times 0,53 - 1} = 55,8 \quad (3.9.11)$$

$$44,8 < 55,8 \quad (3.9.12)$$

Todėl sienutė yra 1 Klasės.

Juostos pastovumas:

$$c = 0,5 \times (200 - 10,2 - 2 \times 21) = 73,9 \text{ mm} \quad (3.9.13)$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{73,9}{17,4} = 4,25 \quad (3.9.14)$$

Klasės 1 riba yra:

$$9\varepsilon = 9 \times 0,83 = 7,47 \quad (3.9.15)$$

$$4,25 < 7,47 \quad (3.9.16)$$

Iš to gauname, kad juosta yra 1 Klasės.

Pjūvių klasifikacija:

Kadangi abu, sienutė ir juosta yra 1 klasės, sijos pjūvis taip pat yra 1 Klasės.

3.10. SKERSPJŪVIŲ ATSPARUMAS

Kolona:

Šlyties atsparumas:

$$A_V = A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f \quad (3.10.1)$$

$$A_V = 13440 - 2 \times 210 \times 17,2 + (11,1 + 2 \times 24) \times 17,2 = 7330 \text{ mm}^2 \quad (3.10.2)$$

$$A_V = 13440 - 2 \times 210 \times 17,2 + (11,1 + 2 \times 24) \times 17,2 = 7330 \text{ mm}^2 \quad (3.10.3)$$

Žinoma, kad $\eta = 1,0$. Todėl:

$$A_V = \eta h_w t_w = 1,0 \times 515,6 \times 11,1 = 5723 \text{ mm}^2 \quad (3.10.4)$$

$$A_V = 7330 \text{ mm}^2 \quad (3.10.5)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{7330(345/\sqrt{3})}{1,0} \times 10^{-3} = 1460 \text{ kN} \quad (3.10.6)$$

Iš III derinio schemos, $V_{Ed} = F_H = 61,10 \text{ kN}$

$61,10 \text{ kN} < 1460 \text{ kN}$, OK

Lenkimo ir šlyties sąveika:

Kai šlyties jėga ir lenkimo momentas skerspjūvį veikia vienu metu, šlyties jėgos poveikio galima nepaisyti, jei jis yra mažesnis, negu 50% plastiško šlyties atsparumo.

$$0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \times 1460 \text{ kN} = 730 \text{ kN} \quad (3.10.7)$$

$61,10 \text{ kN} < 730 \text{ kN}$, todėl šlyties jėgos poveikis momentiniam atsparumui gali būti nepaisomas.

Slėgio atsparumas:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13440 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 4637 \text{ kN} \quad (3.10.8)$$

Iš schemos 10, $N_{Ed} = F_v = 210 \text{ kN}$

$210 \text{ kN} < 4637 \text{ kN}$, OK

Kombinuota lenkimo ir ašinė jėga:

Kai ašinė jėga ir lenkimo momentas skerspjūvį veikia vienu metu, ašinės jėgos poveikis gali būti nepaisomas, jei yra patenkinamos toliau pateiktos dvi sąlygos:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad (3.10.9) \quad \text{ir} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.10.10)$$

$$0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \times 4637 \text{ kN} = 1159 \text{ kN} \quad (3.10.11)$$

$$\frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 515,6 \times 11,1 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 987,25 \text{ kN} \quad (3.10.12)$$

$$210 \text{ kN} < 1159 \text{ kN} \text{ ir } 210 \text{ kN} < 987,25 \text{ kN} \quad (3.10.13)$$

Todėl, ašinės jėgos poveikis momentiniam atsparumui gali būti nepaisomas.

Lenkimo atsparumas:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2787 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 961,52 \text{ kNm} \quad (3.10.14)$$

Iš III derinio schemos, laikoma, kad standumo briaunos aukštis yra 550 mm., (nuo sijos ir kolonos ašinės sankirtos) lenkimo momentas standumo briaunos apačioje,

$$M_{y,Ed} = 539,71 \times \frac{10,48 - 0,55}{10,48} = 511,39 \text{ kNm} \quad (3.10.15)$$

$$M_{y,Ed} = 511,39 \text{ kNm}, < 961,52 \text{ kNm} \quad (3.10.16)$$

Sija:

Šlyties atsparumas:

Šlyties plotas:

$$A_V = 11550 - 2 \times 200 \times 16(10,2 + 2 \times 21) \times 16 = 5334 \text{ mm}^2 \quad (3.10.17)$$

Žinoma, kad $\eta = 1.0$. Todėl:

$$A_V = \eta h_w t_w = 1,0 \times 468 \times 10,2 = 4774 \text{ mm}^2 \quad (3.10.18)$$

$$\therefore A_V = 5334 \text{ mm}^2 \quad (3.10.19)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{5334 (345 / \sqrt{3})}{1,0} \times 10^{-3} = 1062 \text{ kN} \quad (3.10.20)$$

Iš III derinio schemos, $V_{Ed} = 163,14 \text{ kN}$

$163,14 \text{ kN} < 1062 \text{ kN}$, OK

Lenkimo ir šlyties sąveika:

$$0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \times 1062 \text{ kN} = 531 \text{ kN} \quad (3.10.21)$$

$163,14 \text{ kN} < 531 \text{ kN}$, todėl šlyties jėgos poveikis momentiniam atsparumui gali būti nepaisomas.

Slėgio atsparumas:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11550 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 3985 \text{ kN} \quad (3.10.22)$$

Iš III derinio schemos, $N_{Ed} = 78,02 \text{ kN}$

$78,02 \text{ kN} < 3985 \text{ kN}$, OK

Kombinuotos lenkimo ir ašinės jėga:

$$0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \times 3985 \text{ kN} = 996,25 \text{ kN} \quad (3.10.23)$$

$$\frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 468 \times 10,2 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 823,45 \text{ kN} \quad (3.10.24)$$

$78,02 \text{ kN} < 996,25 \text{ kN}$ ir $78,02 \text{ kN} < 823,45 \text{ kN}$

Todėl, ašinės jėgos poveikis momentiniam atsparumui gali būti nepaisomas.

Lenkimo atsparumas:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2194 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 756,93 \text{ kNm} \quad (3.10.25)$$

Iš III derinio schemos, maksimalus lenkimo momentas sijoje yra 607,26 kNm, šalia vuto.

$$M_{y,Ed} = 607,26 \text{ kNm}, < 756,93 \text{ kNm}$$

3.11. ĮTVIRTINIMŲ TIKRINIMAS

Sijų ir kolonų įtvirtinimai privalo būti patikrinti. (Buckling between restraints)

Kadangi $M_{z,Ed} = 0$, nes nėra lenkimo mažojoje ašyje, išraiškos sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.11.1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.11.2)$$

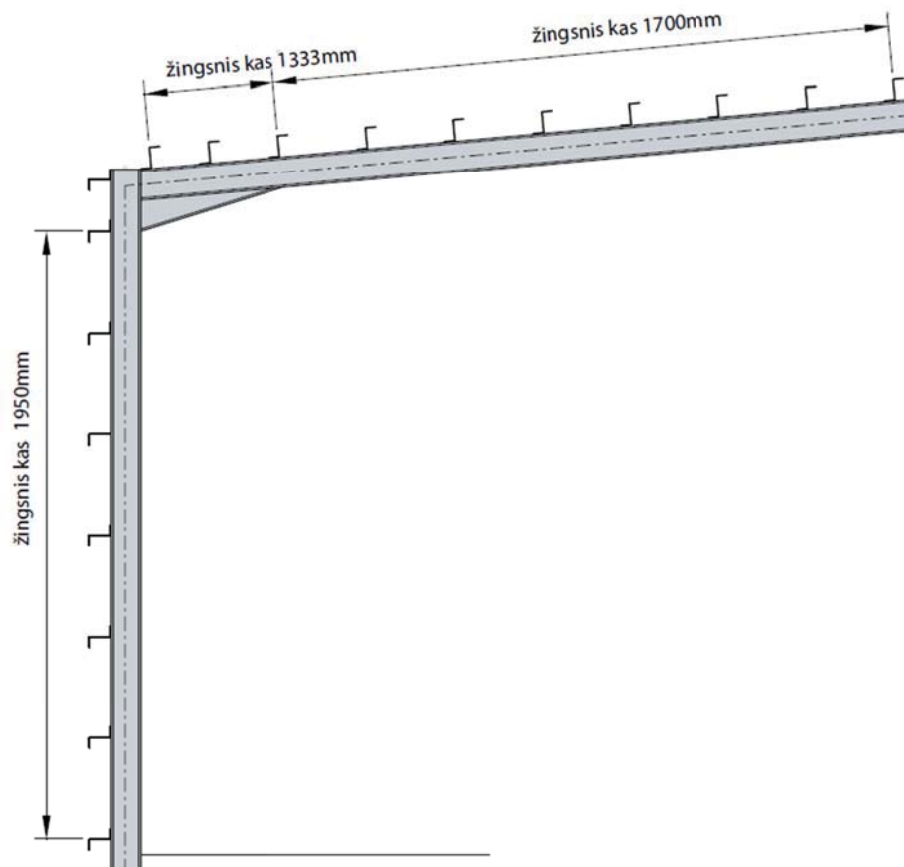
kur:

$N_{b,y,Rd}$ yra lenkimo momento atsparumas pagrindinėje ašyje

$N_{b,z,Rd}$ yra lenkimo momento atsparumas mažojoje ašyje

$M_{b,Rd}$ yra šoninis sukamojo klupumo atsparumas

Pirminis ilginių ramsčių ir šoninių skersinių išsidėstymas yra parodytas 3.11. Pav. Kai kuriose šoninių skersinių ir ilginių ramsčių vietose bus naudojami vidinių juostos sutvirtinimai, tam, kad suteikti sukamąjį klupumo stabdį toje vietoje.



18 pav. Ilginių ramsčių ir šoninių skersinių išsidėstymas.

Tam, kad padidinti įtvirtinimo atsparumą, EN 1993-1-1 leidžia pasinaudoti tarpiniu tempiamųjų juostų sutvirtinimu, tuo atveju, jei šių tempiamųjų juostų sutvirtinimų išsidėstymas yra per ribotą atstumą, tam, kad užtikrinti jų veiksmingumą.

3.12. KOLONŲ PATIKRINIMAS

Visų pirma, kolona įvertinama naudojant išraišką, kuri atsižvelgia į mažosios ašies lenkimo lūžį ir šoninį sukamojo klūpumo atsparumą tarp įtvirtinimų. Taip pat išnagrinėjama nauda ir galimybė panaudoti tempiamųjų juostų sutvirtinimus. Kai kolona yra patikrinta pagal išraišką, kolonos stabilumas yra įvertinamas naudojant išraišką, kuri atsižvelgia į pagrindinės ašies lenkimo lūžį.

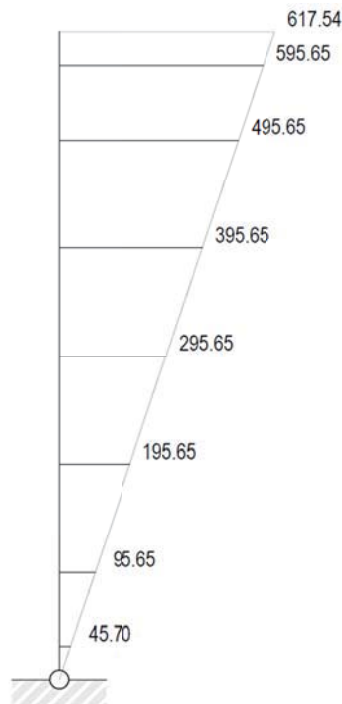
3.13. TEMPIAMŲ JUOSTOSŲ ĮTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMAS

Kaip parodyta 18 pav., tarpiniai tempiamųjų juostų sutvirtinimai gaunami, naudojant šoninius skersinius, išdėstytus 1950 mm atstumo tarpais. Kaip jau aptarta punkte galima daryti prielaidą, kad tempiamųjų juostų sutvirtinimai efektyviai padidina šoninio sukamojo klūpumo atsparumą, jeigu jų išsidėstymas nėra didesnis kaip L_m , kur L_m yra gaunamas iš:

$$\frac{38i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756C_1^2} \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \quad (3.13.1)$$

C_1 yra koeficientas, kurio dėka gauname lenkimo momento diagramos formą.

Linijinėje lenkimo momento diagramoje, C_1 priklauso nuo minimalaus ir maksimalaus lenkimo momentų santykio nagrinėjamame segmente. Lenkimo momento reikšmės sutvirtinimo pozicijose yra parodytos 3.13 Pav.



19 pav. Lenkimo momento reikšmės sutvirtinimo pozicijose

Kolonos segmentų lenkimo momentų santykiai, nuo kolonos viršaus, yra tokie:

$$\Psi = \frac{495,65}{595,65} = 0,83 \therefore C_1 = 1,11 \quad (3.13.2)$$

$$\Psi = \frac{395,65}{495,65} = 0,79 \therefore C_1 = 1,13 \quad (3.13.3)$$

$$\Psi = \frac{295,65}{395,65} = 0,75 \therefore C_1 = 1,16 \quad (3.13.4)$$

$$\Psi = \frac{195,65}{295,65} = 0,66 \therefore C_1 = 1,21 \quad (3.13.5)$$

$$\Psi = \frac{95,65}{195,65} = 0,49 \therefore C_1 = 1,31 \quad (3.13.6)$$

$$\Psi = \frac{45,70}{95,65} = 0,47 \therefore C_1 = 1,57 \quad (3.13.7)$$

$$\Psi = \frac{0}{45,70} = 0,00 \therefore C_1 = 1,77 \quad (3.13.8)$$

Kebliausia C_1 reikšmė yra 1.11; todėl privalome įvertinti šį atvejį.

Pakeičiant reikalingas pjūvių savybes ir konstrukcijos stiprumą:

$$L_m = \frac{38 \times 44,5}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{210 \times 10^3}{13440} \right) + \frac{1}{756 \times 1,11^2} \times \frac{(2787 \times 10^3)^2}{13440 \times 123,2 \times 10^4} \left(\frac{345}{235} \right)^2}} = 1451 \text{ mm} \quad (3.13.9)$$

Šoninių skersinių tarpinis išsidėstymas yra 1750 mm, jis viršija ribinę vertę. Iš to gauname, kad tarpniai tempiamų juostų sutvirtinimai yra nepakankamai arti, kad efektyviai padidintų šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumą.

3.14. PATIKRINIMAS BE TARPNIŲ SUTVIRTINIMŲ

Pirmiausia bandoma patikrinti koloną tarp standumo briaunos apačios sutvirtinimo ir pagrindo, darant prielaidą, kad nėra jokių tarpinių sutvirtinimų. Jei lenkimo momentas, šoninis sukamasis išlinkimas ir sąveikos patikrinimai atitinka šį ilgį, tarpiniai sutvirtinimai nėra reikalingi. Kitu atveju, kolonoje privalomi tarpiniai sukamojo klupumo suvaržymas (sutvirtinimai) arba kolonos dydis turi būti padidintas. Tikėtina, kad pasirinkto aukščio kolonai reikės tarpinių sutvirtinimų.

Lenkimo ir šoninių torsionalinių momentų patikrinimai pirmiausia atliekami nepriklausomai, po to patikrinama jų sąveika.

Lenkimo momento atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b.z.Rd}$

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,68 \quad (3.14.1)$$

$$t_r = 17.2 \text{ mm} \therefore f_y = 345 \text{ N/mm}^2 \quad (3.14.2)$$

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{345}} = 77,5 \quad (3.14.3)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{9930}{45,5} \times \frac{1}{77,5} = 2,816 \quad (3.14.4)$$

Įtvirtinimams aplink z-z ašį, karštojo valcavimo dvitėjams profiliams su $\alpha_z = 0.34$, naudojama kreivė **b**.

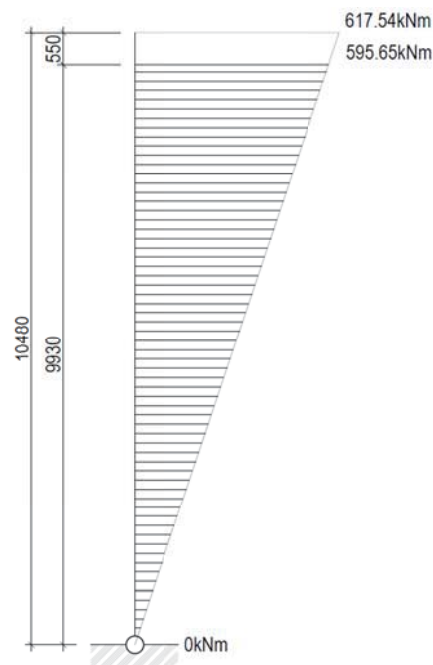
$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (2,816 - 0,2) + 2,816^2] = 4,910 \quad (3.14.5)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} = \frac{1}{4,910 + \sqrt{4,910^2 - 2,816^2}} = 0,112 \quad (3.14.6)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,112 \times 13440 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 519,3 \text{ kN} \quad (3.14.7)$$

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN}, < 519,3 \text{ kN} \quad (3.14.8)$$

Šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas, $M_{b,Rd}$ C1 reikšmė yra apskaičiuojama pagal lenkimo momento diagramą kolonos ilgiui tarp pagrindo ir standumo briaunos apačios.



20 pav. lenkimo momento diagramą kolonos ilgiui tarp pagrindo ir standumo briaunos.

$$\Psi = \frac{0}{595,65} = 0.00 \quad (3.14.9)$$

$$\therefore C_1 = 1.77 \quad (3.14.10)$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_T}{\pi^2 EI_z}}$$

$$= 1.77 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}{9930^2}$$

$$\times \sqrt{\frac{1884 \times 10^9}{2668 \times 10^4} + \frac{9930^2 \times 81000 \times 123,2 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}} = 495 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad (3.14.11)$$

– Nėdidelis lankstumas, λ_{LT} , yra gaunamas iš:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787 \times 10^3 \times 345}{495 \times 10^6}} = 1,394 \quad (3.14.12)$$

Apskaičiuoti sumažinimo koeficientą, χ_{LT} , naudojama EN 1993-1-1 §6.3.2.3.

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.14.13)$$

EN 1993-1-1 valcuotiems profiliams rekomenduoja šias reikšmes:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad (3.14.14)$$

$$\beta = 0,75 \quad (3.14.15)$$

$\frac{h}{b} = 2,6$, todėl kreivė c turėtų būti naudojama karštojo valcavimo dvitėjams profiliams kuriems $\alpha_{LT} = 0.49$

$$\alpha_{LT} = 0,49 \quad (3.14.16)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,394 - 0,4) + 0,75 \times 1,394^2] = 1,472 \quad (3.14.17)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,472 + \sqrt{1,472^2 - 0,75 \times 1,394^2}} = 0,432 \quad (3.14.18)$$

$$\chi_{LT} < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,394^2} = 0,515 \quad (3.14.19)$$

$$\therefore \chi_{LT} = 0,515 \quad (3.14.20)$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,515 \times 2787 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 495 \text{ kN} \quad (3.14.20)$$

$M_{Ed} = 595 \text{ kNm}$, $> 495 \text{ kNm}$, netinkama

Akivaizdu, kad tarpiniai sutvirtinimai būtini.

Praktikoje, vietoje daugybę laiko atimančių analitinių skaičiavimų pateiktų aukščiau, elementų pasipriešinimą būtų patogiau gauti iš Mėlynosios Knygos (The Blue Book).

Iš Mėlynosios Knygos, interpoliuojant tarp $C_I = 1.5$ ir $C_I = 2$ reikšmių, gauti reikšmei $C_I = 1.77$, 12 m ilgiui, $M_{b,Rd} = 509 \text{ kNm}$.

3.15. PATIKSLINTAS SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMAS

Tarpiniai sutvirtinimai privalo būti šoniniuose skersiniuose, kadangi sutvirtinimas nuo šoninių skersinių iki vidinės juostos yra naudojamas suteikti sukamojo klupumo stabdį.

Pasirinktas sukamojo klupumo stabdžių išdėstymas parodytas schemeje 18 pav.

3.16. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – VIRŠUTINIS SEGMENTAS

Pirmiausia patikrinamas viršutinis segmentas. Lenkimo momento ir šoninio sukamojo klupumo išlinkimo patikrinimai pirmiausia atliekami nepriklausomai, po to patikrinama jų sąveika.

Lenkimo lūžo atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b,z,Rd}$

$$\frac{h}{b} = 2,68 \quad (3.16.1)$$

$$\lambda_1 = 77,5 \quad (3.16.2)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1750}{44,1} \times \frac{1}{77,5} = 0,549 \quad (3.16.3)$$

Įtvirtinimams aplink z-z ašį, karštojo valcavimo dvitėjams profiliams su $\alpha_z = 0.34$, naudojama kreivė **b**.

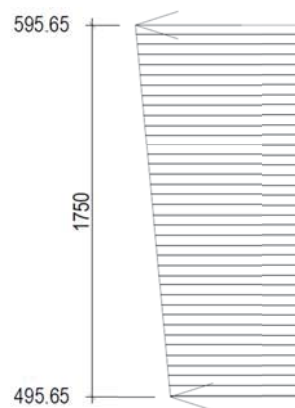
$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,549 - 0,2) + 0,549^2] = 0,710 \quad (3.16.4)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,710 + \sqrt{0,710^2 - 0,549^2}} = 0,862 \quad (3.16.5)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,862 \times 13440 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 3997 \text{ kN} \quad (3.16.6)$$

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN}, < 3997 \text{ kN} \quad (3.16.7)$$

Šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas, $M_{b,Rd}$



21 pav. lenkimo momento diagramą kolonos ilgiui (lokalioji schema).

C1 reikšmė yra apskaičiuojama pagal lenkimo momento diagramą segmente.

$$\Psi = \frac{495,65}{595,65} = 0.83 \quad (3.16.8)$$

$$\therefore C_1 = 1.11 \quad (3.16.9)$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_T}{\pi^2 E I_z}} \quad (3.16.10)$$

$$= 1.11 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}{1750^2}$$

$$\times \sqrt{\frac{1884 \times 10^9}{2668 \times 10^4} + \frac{1750^2 \times 81000 \times 123,2 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}} = 5530 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787 \times 10^3 \times 345}{5530 \times 10^6}} = 0,417 \quad (3.16.11)$$

Kaip ir prieš tai, kreivė ϵ turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_{LT} = 0.49$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.16.12)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,417 - 0,4) + 0,75 \times 0,417^2] = 0,569 \quad (3.16.16)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,569 + \sqrt{0,569^2 - 0,75 \times 0,417^2}} = 0,991 \quad (3.16.17)$$

χ_{LT} negali būti didesnis už 1,0, todėl $\chi_{LT} = 1,0$.

Nėra jokios naudos skaičiuoti $\chi_{LT,mod}$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \times 2787 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 461 \text{ kNm} \quad (3.16.18)$$

$$M_{Ed} = 595,65 \text{ kNm}, > 461 \text{ kNm} \quad (3.16.19)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento momentų sąveika pagal 6.62 Išraišką

Kaip jau minėta, šioje situacijoje 6.62 išraiška sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.16.20)$$

Kai $\lambda_{LT} \geq 0.4$, sąveikos koeficientas k_{zy} yra gaunamas iš:

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) N_{b,Rd,z}} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) N_{b,Rd,z}} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right) \right] \quad (3.16.21)$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4\Psi \quad (3.16.22)$$

$$\Psi = \frac{495,65}{595,65} = 0,83 \quad (3.16.23)$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \times 0,83 = 0,937 > 0,4 \quad (3.16.24)$$

$$\therefore C_{mLT} = 0,937 \quad (3.16.25)$$

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0,1 \times 0,549}{(0,937 - 0,25)} \frac{210}{3997} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(0,937 - 0,25)} \frac{210}{3997} \right) \right] \\ = \max(1,004; 1,008) = 1,008 \quad (3.16.26)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{210}{3997} + 1,008 \times \frac{495}{669,1} = 0,80 < 1,0 \quad (3.16.27)$$

3.17. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – VIDURINIS SEGMENTAS

Lenkimo momento atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b,z,Rd}$

Kaip parodyta viršutiniame segmente, $\lambda_1 = 77,5$

$$L_{cr} \text{ čia } 1750 \times 2 = 3500 \quad (3.17.1)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3500}{44,5} \times \frac{1}{77,5} = 1,015 \quad (3.17.2)$$

Kaip ir prieš tai, kreivė **b** turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_z = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = \\ 0,5 \times [1 + 0,34 \times (1,015 - 0,2) + 1,015^2] = 1,154 \quad (3.17.3)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{1,154 + \sqrt{1,154^2 - 1,015^2}} = 0,587 \quad (3.17.4)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,587 \times 13440 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 2722 \text{ kN} \quad (3.17.5)$$

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN}, < 2722 \text{ kN}, \text{ OK} \quad (3.17.6)$$

$$\Psi = \frac{195,65}{295,65} = 0,66 \quad (3.17.7)$$

$$\therefore C_1 = 1,26 \quad (3.17.8)$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_T}{\pi^2 EI_z}}$$

$$= 1,26 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}{3500^2}$$

$$\times \sqrt{\frac{1884 \times 10^9}{2668 \times 10^4} + \frac{3500^2 \times 81000 \times 123,2 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}} = 1732 \times 10^6 \text{ Nmm}$$
(3.17.9)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787 \times 10^3 \times 345}{1732 \times 10^6}} = 0,745$$
(3.17.10)

Kaip ir prieš tai, kreivė c turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_{LT} = 0,49$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$
(3.17.11)

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,745 - 0,4) + 0,75 \times 0,745^2] = 0,793$$
(3.17.12)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,793 + \sqrt{0,793^2 - 0,75 \times 0,745^2}} = 0,797$$
(3.17.13)

Kad apskaičiuotume modifikavimo faktorių, f

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}} = \frac{1}{\sqrt{1,26}} = 0,89$$
(3.17.14)

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] =$$

$$1 - 0,5(1 - 0,89)[1 - 2(0,745 - 0,8)^2] = 0,945$$
(3.17.15)

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,797}{0,945} = 0,843$$
(3.17.16)

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT,mod} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,843 \times 2787 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 810,55 \text{ kNm}$$
(3.17.17)

$$M_{Ed} = 495,65 \text{ kNm}, < 810,55 \text{ kNm}$$
(3.17.18)

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika

Kaip jau minėta, šioje situacijoje išraiška sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.17.19)$$

Kai $\lambda_z \geq 0.4$, sąveikos koeficientas k_{zy} yra gaunamas iš:

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right); \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right) \right] \quad (3.17.20)$$

$$C_{mLT} = 0.6 + 0.4\Psi \quad (3.17.21)$$

$$\Psi = \frac{195,65}{295,65} = 0,66 \quad (3.17.22)$$

$$C_{mLT} = 0.6 + 0,4 \times 0,66 = 0,864 > 0,4 \quad (3.17.23)$$

$$\therefore C_{mLT} = 0,864 \quad (3.17.24)$$

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0,1 \times 0,549}{(0,864 - 0,25)} \frac{210}{2722} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(0,864 - 0,25)} \frac{210}{2722} \right) \right] = \max(1,007; 1,013) = 1,013 \quad (3.17.25)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{210}{810,55} + 1,013 \times \frac{495,65}{595,65} = 0,80 < 1,0 \quad (3.17.26)$$

3.18. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – APATINIS SEGMENTAS

Lenkimo momento atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b,z,Rd}$

Kaip parodyta viršutiniame segmente, $\lambda_1 = 77,5$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5240}{44,5} \times \frac{1}{77,5} = 1,588 \quad (3.18.1)$$

Kaip ir prieš tai, kreivė **b** turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_z = 0.34$

$$\begin{aligned}\phi_z &= 0.5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = \\ &0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.588 - 0.2) + 1.588^2] = 1.997\end{aligned}\quad (3.18.2)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{1.997 + \sqrt{1.997^2 - 1.588^2}} = 0.312 \quad (3.18.3)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.312 \times 13440 \times 345}{1.0} \times 10^{-3} = 1447 \text{ kN} \quad (3.18.4)$$

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN}, < 1447 \text{ kN}, \text{ OK} \quad (3.18.5)$$

Šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas, $M_{b,Rd}$

C1 reikšmė yra apskaičiuojama pagal lenkimo momento diagramą segmente.



22 pav. lenkimo momento diagramą kolonos ilgiui (lokalioji schema).

$$\psi = \frac{0}{295,65} = 0 \quad (3.18.6)$$

$$\therefore C_1 = 1,77 \quad (3.18.7)$$

$$\begin{aligned}
M_{cr} &= C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_T}{\pi^2 EI_z}} \\
&= 1,77 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}{5240^2} \\
&\times \sqrt{\frac{1884 \times 10^9}{2668 \times 10^4} + \frac{5240^2 \times 81000 \times 123,2 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2668 \times 10^4}} = 1236 \times 10^6 \text{ Nmm}
\end{aligned} \tag{3.18.8}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787 \times 10^3 \times 345}{1236 \times 10^6}} = 0,778 \tag{3.18.9}$$

Kaip ir prieš tai, kreivė c turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_{LT} = 0,49$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \tag{3.18.10}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,778 - 0,4) + 0,75 \times 0,778^2] = 0,820 \tag{3.18.11}$$

$$\begin{aligned}
\chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\
&= \frac{1}{0,820 + \sqrt{0,820^2 - 0,75 \times 0,778^2}} = 0,777
\end{aligned} \tag{3.18.12}$$

$$\begin{aligned}
\chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \\
&= \frac{1}{0,820 + \sqrt{0,820^2 - 0,75 \times 0,778^2}} = 0,777
\end{aligned} \tag{3.18.13}$$

Kad apskaičiuotume modifikavimo faktorių, f

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}} = \frac{1}{\sqrt{1,77}} = 0,75 \tag{3.18.14}$$

$$\begin{aligned}
f &= 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] = \\
&= 1 - 0,5(1 - 0,75) [1 - 2(0,778 - 0,8)^2] = 0,88
\end{aligned} \tag{3.18.15}$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0.777}{0.88} 0.882 \quad (3.18.16)$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT,mod} W_{ply} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.882 \times 2787 \times 10^3 \times 345}{1.0} \times 10^{-6} = 848 \text{ kNm} \quad (3.18.17)$$

$$M_{Ed} = 295,65 \text{ kNm}, < 848 \text{ k} \quad (3.18.18)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika, pagal 6.62 Išraišką

Kaip jau minėta, šioje situacijoje išraiška sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.18.19)$$

Kai $\lambda_z \geq 0.4$, sąveikos koeficientas k_{zy} yra apskaičiuojamas kaip:

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right); \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right) \right] \quad (3.18.20)$$

$$C_{mLT} = 0.6 + 0.4\Psi \quad (3.18.21)$$

$$\Psi = \frac{0}{295,65} = 0 \quad (3.18.22)$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6 > 0,4 \quad (3.18.23)$$

$$\therefore C_{mLT} = 0,6 \quad (3.18.24)$$

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 + \frac{0,1 \times 1,588}{(0,6 - 0,25)} \frac{210}{1447} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \frac{210}{1447} \right) \right] = \max(0,928; 0,955) = 0,955 \quad (3.18.25)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{210}{1447} + 0,955 \times \frac{295,65}{848} = 0,478 < 1,0 \quad (3.18.26)$$

3.19. PATIKSLINTŲ SUTVIRTINIMŲ IŠDĖSTYMO PATIKRINIMAS – PAGRINDINĖ AŠIS

Lenkimo momento atsparumas aplink pagrindinę ašį, $N_{b,y,Rd}$

$$\text{Kaip ir prieš tai, } \frac{h}{b} = 2,68, \text{ ir } \lambda_1 = 77,5 \quad (3.19.1)$$

Įtvirtinimams aplink y - y ašį, karštojo valcavimo dvitėjams profiliams su $\alpha_y = 0,21$, naudojama kreivė **a**.

Šiame pavyzdyje, įtvirtinimo ilgis yra paimtas kaip sistemos ilgis, kuris yra atstumas tarp mazginių taškų, (t.y. kolonos ilgis), $L = 10480$ mm.

Kaip parodyta ankščiau, $\lambda_1 = 77,5$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10480}{243} \times \frac{1}{77,5} = 0,556 \quad (3.19.2)$$

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = \\ &0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,556 - 0,2) + 0,556^2] = 0,692 \end{aligned} \quad (3.19.3)$$

$$\begin{aligned} \chi_y &= \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \\ &\frac{1}{0,697 + \sqrt{0,697^2 - 0,556^{-2}}} = 0,895 \end{aligned} \quad (3.19.4)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,895 \times 13440 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 4150 \text{ kN} \quad (3.19.5)$$

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN}, < 4150 \text{ kN} \quad (3.19.6)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.19.6)$$

Pats kėbliausias $\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}}$ santykis iš visų trijų segmentų yra įvertintas kartu su pagrindinės ašies lenkimo momentu.

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \quad (3.19.6)$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{495,65}{669,1} = 0,80 \quad (3.19.7)$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{395,65}{595,65} = 0,80 \quad (3.19.8)$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{295,65}{848} = 0,478 \quad (3.19.9)$$

Sąveikos koeficientas k_{yy} yra gaunamas iš

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right); \\ C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right) \end{array} \right] \quad (3.19.10)$$

Kad apskaičiuoti C_{my} , atitinkami sustiprinti taškai yra torsionaliniai stabdžiai elemnto galuose.

C_{my} yra:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\Psi \geq 0,4 \quad (3.19.11)$$

$$\Psi = 0/495,65 = 0 \quad (3.19.12)$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6 \quad (3.19.13)$$

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} 0,6 \left(1 + (0,556 - 0,2) \frac{210}{4150} \right); \\ 0,6 \left(1 + 0,8 \frac{210}{4150} \right) \end{array} \right] = \min(0,611; 0,624) = 0,611 \quad (3.19.15)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{210}{4150} + 0,611 \times 0,75 = 0,51 < 1 \quad (3.19.16)$$

3.20. APIBENDRINIMAS: KOLONOS PJŪVIO TINKAMUMAS

Įrodyta, kad skerspjūvio atsparumas, lenkimo momento atsparumas ir šoninio sukamojo klupumo išlinkimo atsparumas yra pakankami.

Dėl to, daroma išvada, kad IPE 550, S355 Klasė yra tinkama naudoti kaip kolona šiam vienanaviam rėmui, atsižvelgiant į trečiąjį apkrovos derinį.

Kitiems apkrovos deriniams bus reikalingi panašūs patikrinimai.

3.21. SIJOS PATIKRINIMAS

23 pav. matome vienos sijos lenkimo momento diagramą trečiajam deriniui, kartu su ilginių ramsčių išsidėstymu.

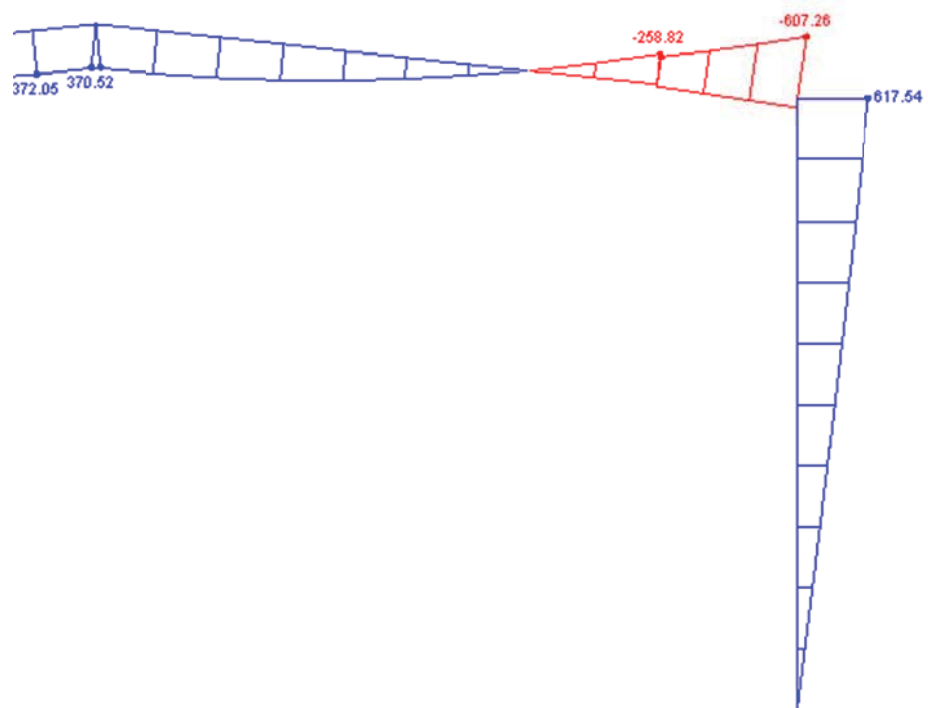
Iš analizės gauname, kad jėgos ir momentai veikiantys siją yra:

$$V_{Ed} = 163,14 \text{ kN (maksimali reikšmė)}$$

$$N_{Ed} = 78,02 \text{ kN (maksimali reikšmė)}$$

$$M_{Ed} = 258,82 \text{ kNm (vuto gale)}$$

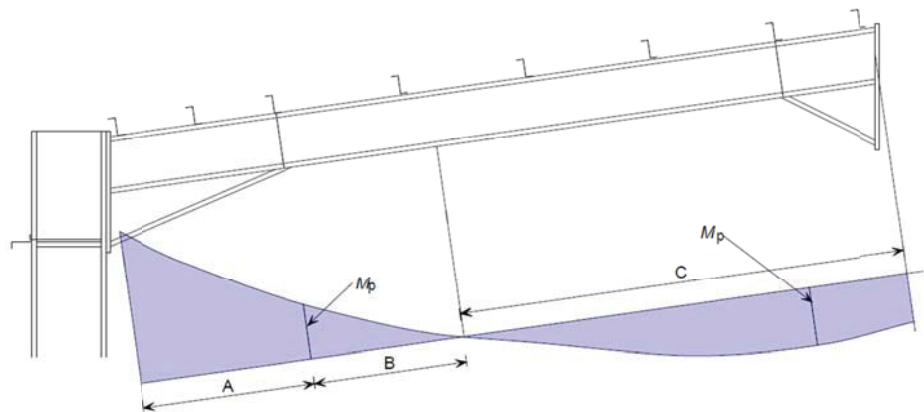
$$M_{ed} = 372,05 \text{ kNm (greta apekso)}$$



23 pav. Vienos pusės sijos ir kolonos lenkimo momento diagramą trečiajam deriniui, kartu su ilginių ramsčių išsidėstymu.

Kiekvienas segmentas tarp sukamojo klupumo stabdžių privalo būti patikrintas pagal kiekvieną apkrovos derinį, šoniniam sukamojo klupumo atsparumui ir lenkimo momentui aplink mažąją ašį. Šiame pavyzdyje, tipiniai patikrinimai yra pademonstruoti kėbliausiam segmentui Zonoje C (žiūrėti 3.21.2) ir kėbliausiam segmentui Zonoje B. Tuomet patikrinamas įtvirtinimas aplink pagrindinę ašį.

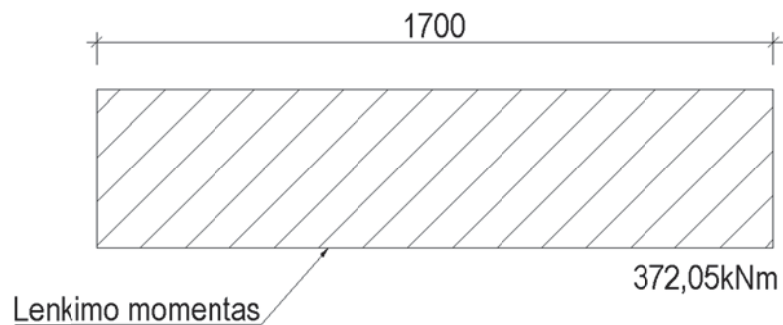
Standumo briaunos sritis yra patikrinama atskirai, šios analizės 3.26 punkte.



24 pav. Schema šoniam sukamojo klupumo atsparumui ir lenkimo momentui C ir B zonose.

3.2.2. ZONA C – ĮDUBUSI DALIS

Analitiniams skaičiavimams, yra priimta, kad tikrinant siją, daroma prielaida, kad maksimalus momentas tarp ilginių ramsčių yra uniforminis, kaip parodyta 25 pav.



25 pav. Uniforminis lenkimo momentas.

Lenkimo momento atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b,z,Rd}$

$$\frac{h}{b} = \frac{500}{200} = 2,50 \quad (3.22.1)$$

$$t_r = 17,4 \text{ mm} \therefore f_y = 345 \text{ N/mm}^2 \quad (3.22.2)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1700}{44,1} \times \frac{1}{77,5} = 0,497 \quad (3.22.3)$$

Įtvirtinimams aplink z-z ašį, naudojama kreivė **b** su $\alpha_z = 0.34$.

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = \\ &= 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,497 - 0,2) + 0,497^2] = 0,674 \end{aligned} \quad (3.22.4)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,674 + \sqrt{0,674^2 - 0,497^2}} = 0,886 \quad (3.22.5)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,886 \times 11550 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 3530 \text{ kN} \quad (3.22.6)$$

$$N_{Ed} = 78,02 \text{ kN}, < 3530 \text{ kN} \quad (3.22.7)$$

Šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas, $M_{b,Rd}$

Šiuo atveju, lenkimo momento diagrama laikoma pastovi išilgai nagrinėjamo segmento, taigi $\Psi = 1,0$, todėl $C_1 = 1,0$.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_T}{\pi^2 E I_z}}$$

$$= 1,0 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2140 \times 10^4}{1700^2} \quad (3.22.8)$$

$$\times \sqrt{\frac{1249 \times 10^9}{2140 \times 10^4} + \frac{1700^2 \times 81000 \times 89,29 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2140 \times 10^4}} = 3885 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194 \times 10^3 \times 345}{3885 \times 10^6}} = 0,195 \quad (3.22.9)$$

$\frac{h}{b} = 2,50$, taigi kreivė c turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_{LT} = 0,49$.

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.22.10)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,195 - 0,4) + 0,75 \times 0,195^2] = 0,464 \quad (3.22.11)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} =$$

$$\frac{1}{0,464 + \sqrt{0,464^2 - 0,75 \times 0,195^2}} = 0,99 \quad (3.22.12)$$

$$\therefore \chi_{LT} = 0,99 \quad (3.22.13)$$

Kadangi χ_{LT} reikšmė yra taip arti 1,0, nėra prasmės skaičiuoti $\chi_{LT,mod}$, nes jo reikšmė niekada nebus didesnė negu 1,0.

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,990 \times 2194 \times 10^3 \times 345}{1,0} \times 10^{-6} = 749 \text{ kNm} \quad (3.22.14)$$

$$M_{y,Ed} = 372,05 \text{ kNm}, < 749 \text{ kNm} \quad (3.22.15)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika, sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.22.16)$$

Kai $\lambda_z \geq 0.4$, sąveikos koeficientas k_{zy} yra apskaičiuojamas kaip:

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right) \right] \quad (3.22.17)$$

Daroma prielaida, kad lenkimo momentas yra uniforminis. Dėl to laikoma, kad C_{mLT} reikšmė yra 1.0.

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0,1 \times 0,195 \cdot 78,02}{(1 - 0,25) \cdot 3530} \right); \left(1 - \frac{0,1 \cdot 78,02}{(1 - 0,25) \cdot 3530} \right) \right] = \max(0,999; 0,997) = 0,999 \quad (3.22.18)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{78,02}{3530} + 0,999 \times \frac{372,05}{749} = 0,518 < 1,0 \quad (3.22.19)$$

3.23. ZONA B –IŠLENKTA DALIS

Šioje dalyje, trečiajame derinyje, apatinė juosta yra gniuždoma. Kai kuriose šoninių skersinių ir ilginių ramsčių vietose naudojami vidinių juostų ramsčiai, kurie suteikia sukamojo klupumo stabdžius.

Šioje zonoje, įtvirtinimo ilgis yra skaičiuojamas nuo sukamojo klupumo stabdžio aštrijame standumo briaunos gale iki lenkimo momento diagramos „virtualaus“ papildomo

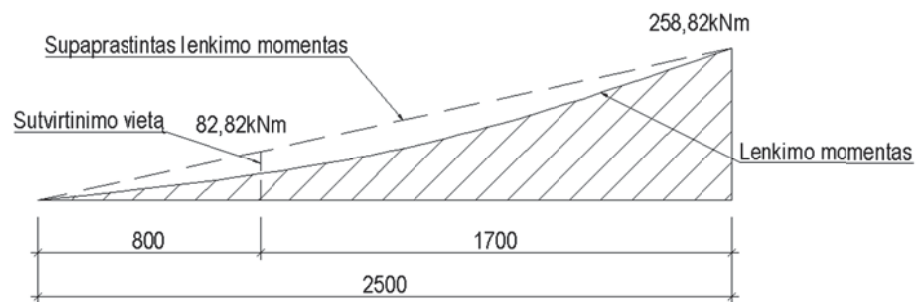
sutvirtinimo taško. Jei sija negali būti patikrinta pagal šį ilgį, bus reikalingi papildomi vidinės juostos sutvirtinimai.

Darome prielaidą, kad virtualus sutvirtinimas yra papildomo sutvirtinimo taške, kadangi sija yra pjūvio, ilginių ramsčių gylis yra ne didesnis kaip 0,25 karto sijos gylio ir ilginio ramsčio ir sijos sujungimą sudaro mažiausiai du varžtai.

Atvejais, kai aukščiau pateiktos sąlygos nėra išpildomos, įtvirtinimo ilgis turėtų būti pratęstas iki sekančio ilginio ramsčio, už papildomo sutvirtinimo taško (t.y. iki pirmos gniuždomos juostos sutvirtinimo).

Iš analizės, gauname, kad atstumas iki papildomo sutvirtinimo taško yra 5826 mm (žiūrėti pav 18, 20). Iš to gauname, kad įtvirtinimo ilgis nuo standumo briaunos galo iki papildomo sustvirtinimo taško yra $5826 = \frac{2400}{\cos 6^\circ} = 2500 \text{ mm}$.

Jeigu tarpas tarp tarpnių sutvirtinimų ir gniuždomos juostos yra pakankamai mažas, konstrukcijos įtvirtinimo atsparumas gali būti padidintas. Sutvirtinimai yra efektyvūs, jeigu atstumai tarp jų neviršija L_m .



26 pav. Shema gniuždomos juostos išdėstymui nustatyti.

Ribinis atstumas yra gaunamas iš:

$$L_m = \frac{38i_z}{\sqrt{\frac{1}{57.4} \left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756C_1^2} \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \quad (3.23.1)$$

$$\Psi = \frac{82,82}{258,82} = 0,32 \quad (3.23.2)$$

$$\therefore C_1 = 1,469 \quad (3.23.3)$$

$$L_m = \frac{38 \times 44,1}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{78,02 \times 10^3}{11550} \right)^2 + \frac{1}{756 \times 1,469^2} \frac{(2194 \times 10^3)^2}{11550 \times 89,29 \times 10^4} \left(\frac{345}{235} \right)^2}} = 1956 \text{ mm} \quad (3.23.4)$$

Gniuždamos juostos sutvirtinimai yra gaunami iš ilginių ramsčių, išdėstytų 1700 mm atstumu, kuris yra mažesnis negu ribinis atstumas – 1956 mm.

Todėl galima pasinaudoti gniuždamos juostos sutvirtinimais.

Iš pradžių, išlenkta dalis yra patikrinama nenaudojant jokių tarpinių sukamojo klupumo stabdžių.

Jeigu lenkimo momentas, šoninis sukamojo klupumo išlinkimas ir sąveikos patikrinimai yra patenkinami visai išlenktai daliai, nereikia jokių papildomų sukamojo klupumo stabdžių. Kitu atveju, išlenktoje dalyje sijoje privalomi tarpiniai sukamojo klupumo sutvirtinimai arba sijos dydis turi būti padidintas.

Lenkimo momento atsparumas aplink mažąją ašį, $N_{b,z,Rd}$

Naudojamas gniuždamos juostos sutvirtinimo pranašumas.

Atstumas a tarp sutvirtintos išilginės ašies ir sijos šlyties centro, numatant 200 mm aukščio ilginius ramsčius, yra gaunamas iš:

$$\alpha = 0,5 \times 536,7 + 0,5 \times 200 = 368,4 \text{ mm} \quad (3.23.5)$$

Kritinė plastiška šoninio klupumo išlinkimo jėga tarp torsionalinių stabdžių yra gaunama iš:

$$N_{crT} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_z a^2}{L_t^2} + \frac{\pi^2 EI_w}{L_t^2} + GI_T \right) \quad (3.23.6)$$

Kur:

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2 = 45,72 + 2192 + 368,42 = 185768 \text{ mm}^2 \quad (3.23.7)$$

$$N_{crT} = \frac{1}{185768} \left(\frac{\pi^2 \times 2,1 \times 2140 \times 10^9 \times 368,4^2}{2500^2} + \frac{\pi^2 \times 2,1 \times 1249 \times 10^{14}}{2500^2} + 8,1 \times 89,29 \times 10^9 \right) = 8155 \text{ kN} \quad (3.23.8)$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11550 \times 345}{8155}} = 0,739 \quad (3.23.9)$$

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = \\ &0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,739 - 0,2) + 0,739^2] = 0,864 \end{aligned} \quad (3.23.10)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} = \frac{1}{0,864 + \sqrt{0,864^2 - 0,739^2}} = 0,761 \quad (3.23.11)$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,761 \times 11550 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 3032 \text{ kN} \quad (3.23.12)$$

$$N_{Ed} = 78,02 \text{ kN}, < 3032 \text{ kN} \quad (3.23.13)$$

Šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas, $M_{b,Rd}$

Kad nustatytume šoninio sukamojo klupumo išlinkimo nedidelį lankstumą, M_{cr0} reikšmė pirmiausia privalo būti apskaičiuota elementui su tarpiniais sutvirtinimais ir veikiamam uniformminio momento.

$$M_{cr0} = \frac{i_s^2}{2a} N_{cr} = \frac{185768}{2 \times 368,4} \times 8155 \times 10^{-3} = 2056 \text{ kNm} \quad (3.23.14)$$

$$M_{cr0} = c^2 C_m M_{cr0} \quad (3.23.15)$$

$$N_{cr,E} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_t^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 2140 \times 10^4}{2500^2} \times 10^{-3} = 7097 \text{ kN} \quad (3.23.16)$$

$$\eta = \frac{N_{cr,E}}{N_{cr,T}} = \frac{7097}{8155} = 0,870 \quad (3.23.17)$$

$$B_0 = \frac{1 + 10\eta}{1 + 20\eta} = \frac{1 + 10 \times 0,870}{1 + 20 \times 0,870} = 0,527 \quad (3.23.18)$$

$$B_1 = \frac{5\sqrt{\eta}}{\pi + 10\sqrt{\eta}} = \frac{5\sqrt{0,870}}{\pi + 10\sqrt{0,870}} = 0,374 \quad (3.23.19)$$

$$B_2 = \frac{0,5}{1 + \pi\sqrt{\eta}} - \frac{0,5}{1 + 20\eta} = \frac{0,5}{1 + \pi\sqrt{0,870}} - \frac{0,5}{1 + 20 \times 0,870} = 0,100 \quad (3.23.20)$$

$$\beta_t = \frac{M_{min}}{M_{max}} = \frac{0}{258,82} = 0 \quad (3.23.21)$$

$$C_m = \frac{1}{B_0 + B_1\beta_t + B_2\beta_t^2} = \frac{1}{0,527 + 0,374 \times 0 + 0,100 \times 0^2} = 1,898 \quad (3.23.22)$$

Kadangi elementas yra uniforminis, naudojamo kūgio koeficiento c reikšmė yra 1,0.

$$M_{cr0} = c^2 C_m M_{cr0} = 1^2 \times 1,898 \times 2056 = 3902 \text{ kNm} \quad (3.23.23)$$

Nedidelis lankstumas, $\bar{\lambda}_{LT}$, yra gaunamas iš:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194 \times 10^3 \times 345}{3902 \times 10^6}} = 0,440 \quad (3.23.24)$$

Redukuotas koeficientas χ_{LT} gaunamas iš 6.3.2.3 valcuotiems profiliams:

Kaip prieš tai, $h/b = 2.56$, todėl kreivė c turi būti naudojama su reikšme, $\alpha_{LT} = 0.49$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.23.25)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,195 - 0,4) + 0,75 \times 0,195^2] = 0,464 \quad (3.23.26)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,464 + \sqrt{0,464^2 - 0,75 \times 0,195^2}} = 0,955 \quad (3.23.27)$$

$$\frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,195^2} = 5,128 \quad (3.23.28)$$

$$\therefore \chi_{LT} = 0,955 \quad (3.23.29)$$

Kad apskaičiuotume modifikavimo faktorių, f

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}} = \frac{1}{\sqrt{1,77}} = 0,75 \quad (3.23.30)$$

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) [1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \quad (3.23.31)$$

$$f = 1 - 0,5(1 - 0,75)[1 - 2(0,195 - 0,8)^2] = 0,90 \quad (3.23.32)$$

Modifikuotas redukuotas koeficientas yra gaunamas iš:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,955}{0,9} = 1,06, \text{ bet ribotas } 1.0 \quad (3.23.33)$$

$$\chi_{LT,mod} = 1.0 \quad (3.23.34)$$

Įtvirtinimo atsparumo momentas yra gaunamas iš:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1.0 \times 2194 \times 10^3 \times 345}{1.0} \times 10^{-6} = 757 \text{ kNm} \quad (3.23.35)$$

$$M_{y,Ed} = 258,82 \text{ kNm}, < 757 \text{ kNm} \quad (3.23.36)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika.

Kaip jau minėta, šioje situacijoje išraiška sumažėja į:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.23.37)$$

Kai $\lambda_z \geq 0,4$, sąveikos koeficientas k_{zy} yra apskaičiuojamas kaip:

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right); \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right) \right] \quad (3.23.38)$$

$$C_{mLT} = 0.6 + 0.4\Psi \quad (3.23.39)$$

$$\Psi = \frac{0}{258,82} = 0 \quad (3.23.40)$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6 > 0,4 \quad (3.23.41)$$

$$\therefore C_{mLT} = 0,6 \quad (3.23.42)$$

$$k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0,1 \times 0,739 \cdot 78,02}{(0,6 - 0,25) \cdot 3032} \right); \left(1 - \frac{0,1 \cdot 78,02}{(0,6 - 0,25) \cdot 3032} \right) \right] = \max(0,993; 0,991) = 0,993 \quad (3.23.43)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{78,02}{3032} + 0,993 \times \frac{258,82}{757} = 0,365 < 1,0 \quad (3.23.44)$$

3.24. LŪŽIO PLOKŠTUMOS IR LENKIMO ATSPARUMAS

Lenkimo momento atsparumas aplink pagrindinę ašį, $N_{b,y,Rd}$

Kaip ir prieš tai, $\frac{h}{b} = 2.68$, ir $\lambda_1 = 77.5$

Įtvirtinimams aplink y - y ašį, karštojo valcavimo dvitėjamis profiliams su $\alpha_y = 0.21$, naudojama kreivė a.

Būtina nustatyti įtvirtinimo ilgį. Programinė įranga gali apskaičiuoti šį ilgį tiksliai. Simetriškam, vienanaviui, elastingai suprojektuotam griežtos geometrijos portalo rėmui, galime pagrįstai apytiksliai imti, kad įtvirtinimo ilgis yra išvystytas ilgis nuo karnizo iki apekso. Todėl,

$$L_{cr} = \frac{12000}{\cos 6^\circ} = 12500 \text{ mm} \quad (3.24.1)$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{12500}{203} \times \frac{1}{77,5} = 0,795 \quad (3.24.2)$$

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = \\ &0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,795 - 0,2) + 0,795^2] = 0,878 \end{aligned} \quad (3.24.3)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} = \frac{1}{0,878 + \sqrt{0,878^2 - 0,795^2}} = 0,728 \quad (3.24.4)$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,728 \times 11550 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 2901 \text{ kN} \quad (3.24.5)$$

$$N_{Ed} = 78,02 \text{ kN}, < 2901 \text{ kN} \quad (3.24.6)$$

Ašinės jėgos ir lenkimo momento sąveika.

Kaip jau minėta, šioje situacijoje išraiška sumažėja į:

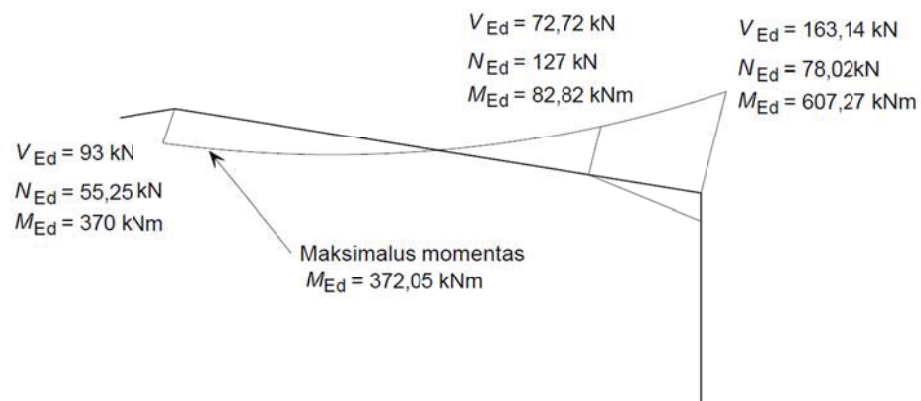
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.24.7)$$

Sunkiausias $\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}}$ santykis iš B ir C Zonų yra nagrinėjamas kartu su pagrindinės ašies lenkimo momentu.

$$\text{Greta vuto: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{258,82}{757} = 0,34 \quad (3.24.8)$$

$$\text{Greta apekso: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{372,05}{749} = 0,50 \quad (3.24.9)$$

Apskaičiuojant C_{my} , naudojama lenkimo momento diagrama visam sijos ilgiui (kaip parodyta 27 Pav.).



27 pav. Lenkimo momento diagrama visam sijos ilgiui

Sąveikos koeficientas k_{yy} yra apskaičiuojamas šiuo būdu:

$$k_{yy} = \min \left[C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right); C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right) \right] \quad (3.24.10)$$

C_{my} išraiška priklauso nuo α_s reikšmių, (navos vidurio momento ir platesnio galo momento santykis), ir Ψ (galų momentų santykis).

$$\Psi = \frac{-370}{607,27} = -0,60 \quad (3.24.11)$$

Navos vidurio momentas (gautas iš analizės skaičiuojant kompiuterine programa „Dlubal Rfem“) yra 216 kNm

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-216}{607,27} = -0,36 \quad (3.24.12)$$

Todėl, kad $-1 \leq \alpha_s < 0$, ir $-1 \leq \Psi < 0$, C_{my} apskaičiuojamas:

$$C_{my} = 0,1(1 - \Psi) - 0,8\alpha_s \text{ but } \geq 0,4 \quad (3.24.13)$$

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0,1(1 - (-60)) - 0,8 \times (-0,36) = \\ &0,32 \text{ bet } C_{my} \geq 0,4 \text{ todėl } C_{my} = 0,4 \end{aligned} \quad (3.24.14)$$

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \left(1 + (0,889 - 0,2) \frac{78,02}{2901} \right); \\ 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{78,02}{2901} \right) \end{array} \right] = \min(0,41; 0,41) = 0,41 \quad (3.24.15)$$

Naudojant nepalankiausią $\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}}$ santykį:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{78,02}{2901} + 0,41 \times 0,50 = 0,34 < 1,0 \quad (3.24.16)$$

3.25. APIBENDRINIMAS: SIJOS PJŪVIO TINKAMUMAS

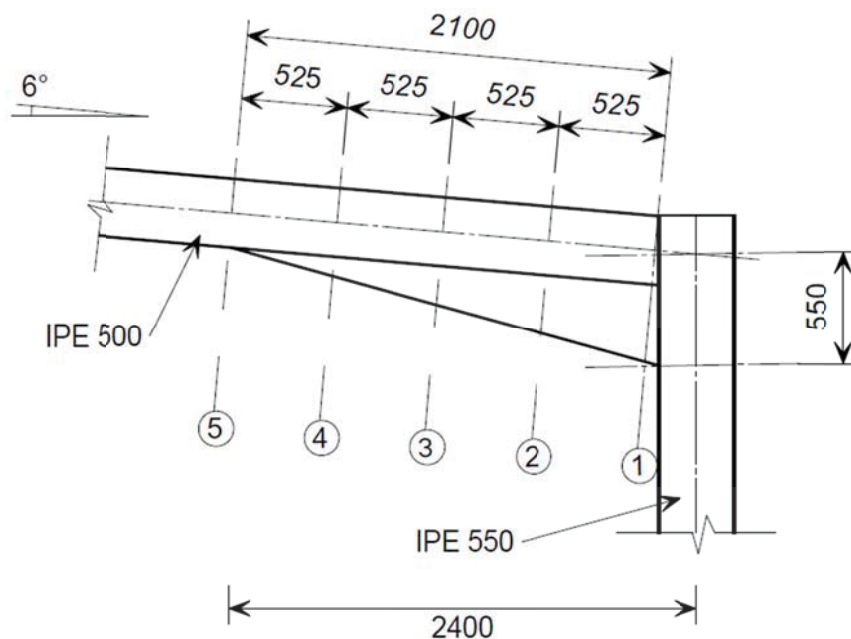
Įrodyta, kad skerspjūvio atsparumas, lenkimo momento atsparumas ir šoninio torsionalinio išlinkimo atsparumas yra pakankami. Šoninio sukamojo klupumo išlinkimo ir lenkimo momento plokštumoje ir už jos ribų sąveika buvo patikrinta.

Dėl to, daroma išvada, kad IPE500, S355 klasė yra tinkama naudoti kaip sija šiam vienanaviam rėmui, atsižvelgiant į pirmąjį apkrovos derinį.

3.26. STANDUMO BRIAUNOS ILGIO PATIKRINIMAS

Standumo brauna yra pagaminta iš IPE500, S355 pjūvio.

Patikrinimai atliekami gale ir ketvirčio taškuose, kaip parodyta 28 pav.

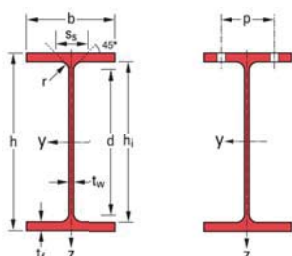


28 pav. Karnizo ketvirčio taškų schema.

Lentelėje 5 matome jungiamojo pjūvio skerspjūvinės savybės kiekviename skerspjūvyje. Lentelėje 5 taip pat nurodytas apskaičiuotas skerspjūvio konstrukcijos slėgis ir lenkimo momentas.

5 lentelė. Skerspjūvio savybės

Skerspjūvio nr.	Pjūvio gylis (mm)	Pjūvio aukštis (mm)	A	I_y	$W_{el,y}$	N_{Ed}	M_{Ed}
1	545.1	1081.8	23500	332000	5960	78.02	567
2	408.8	954.5	21900	242000	4850	77.02	490
3	272.6	809.3	20200	171000	3870	76.02	413
4	136.3	673	18600	118000	3060	75.02	336
5	0	536.7	12900	61500	2290	73.02	259



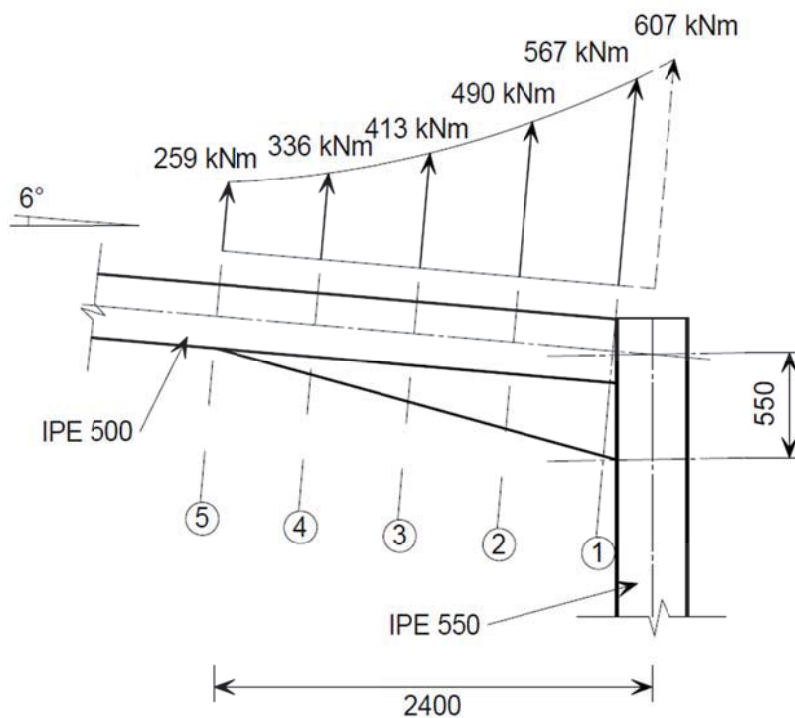
	G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	∅	P _{min}	P _{max}	A _t	A _G
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
IPE 500	90.7	48200	1928	2194	20.43	59.87	2142	2142	335.9	4.31	66.80	89.29	1249	1
IPE A 550	92.1	59980	2193	2475	22.61	60.30	2432	231.6	361.5	4.55	68.52	86.53	1710	1

Pjūvio savybės yra apskaičiuojamos nuo sijos pjūvio normalios ašies iki išilginės ašies.

Vidurinis juostosas taip pat įtrauktas į pjūvio savybių lentelę 5.

Pirmajam skerspjūviui, naudojamos N_{Ed} ir M_{Ed} reikšmės kolonos priekyje.

Konstrukcijos lenkimo momentai parodyti 29 pav.



29 pav. Konstrukcijos lenkimo momentai.

3.27. SKRESPJŪVIO KLASIFIKACIJA

Klasifikuojant jungiamąjį pjūvį, naudojamas paprastas metodas. Elementai klasifikuojami numatant įprastinį įtempių pasisikirstymą tam, kad galėtume nustatyti ar jie yra 2 klasės, ar geresni. Jei skerspjūvis yra bent jau 2 klasės, lenkimo atsparumas apskaičiuojamas remiantis plastiškumo savybėmis.

Sunkio apkrovos derinyje standumo tinklas greičiausiai yra kritinis elementas, ypač didesniose skerspjūviuose.

Jei juostos yra 1 arba 2 klasės, tačiau tinklas ne, apskaičiuojamos veiksmingos lankstumo savybės. Klasifikacija privalo būti atlikta kiekvienam standumo briaunos skerspjūviui.

Pateikiami išsamūs 1 skerspjūvio skaičiavimai, kadangi tai giliausias pjūvis. Likusių skerspjūvių klasės apibendrintos lentelėje 6.

Kadangi sijos ašinis suspaudimas yra nedidelis, veikiami sunkio apkrovos derinio, dauguma sijos pjūvio elementų bus įtampoje (dėl didelio lenkimo momento). Dėl šios priežasties, sijos pjūvių elementų klasifikuoti nebūtina.

Standumo tinklas

Daroma prielaida, kad standumo sienutė yra veikiamas tik slėgio (sunkiausia sąlyga).

Kadangi:

$$t_f = 17.4 \text{ mm} \quad (3.27.1)$$

$$f_y = 345 \text{ N/mm}^2 \quad (3.27.2)$$

Todėl:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{345}} = 0,825 \quad (3.27.3)$$

$$2 \frac{c}{t} \text{riba} = 38\varepsilon = 38 \times 0,825 = 31,4 \quad (3.27.4)$$

Tikrasis:

$$\frac{c}{t} = \frac{545,1 - 16}{11,9} = 44,1 \quad (3.27.5)$$

Pagal šį paprastą patikrinimą, standumo sienutė nėra 2 klasės.

Standumo juostos

$$2 \text{ klasės } c/t \text{ riba} = 10\varepsilon = 10 \times 0,825 = 8,25$$

$$\text{Tikrasis } c/t = \frac{95,9}{19,6} = 4,9$$

$4,9 < 8,25$, todėl standumo juostos yra bent jau 2 klasės.

3.28. VEIKSMINGAS PLASTIŠKUMO MODULIS

Kadangi standumo sienutė nėra 2 klasės, apskaičiuojamos veiksmingos savybės, darant prielaidą, kad standumo sienutė yra veiksminga tik per $20t\varepsilon$ atstumą nuo juostų. Kaip įprasta, apvadai nepaisomi ir $20t\varepsilon$ reikšmė imama nuo juostos priekio, o ne nuo apvado galo.

$$20t\varepsilon = 20 \times 11,9 \times 0,825 = 196 \text{ mm} \quad (3.28.1)$$

Standumo briaunos elementų sritys yra:

$$\text{Viršutinė juosta} \quad 200 \times 16 = 3200 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sijos sienutė} \quad 468 \times 10,2 = 4774 \text{ mm}^2$$

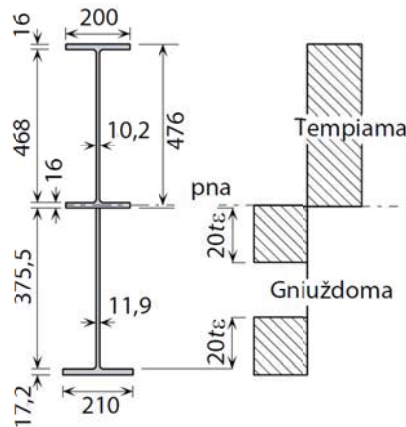
$$\text{Vidurinė juosta} \quad = 3654 \text{ mm}^2$$

$$20t\varepsilon \text{ (viršutinis)} \times t = 196 \times 11,9 = 2338 \text{ mm}^2$$

$$20t\varepsilon \text{ (apatinis)} \quad = 2338 \text{ mm}^2$$

$$\text{Standumo juosta} = 210 \times 17,2 = 3612 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 19916 \text{ mm}^2$$



30 pav. PNA neutralioji plastiška ašis

Patikrinus apskaičiuotas sritis, plastiška neutrali ašis yra vidurinėje juostoje.

Jeigu plastiškos neutralios ašies padėtis yra χ mm žemyn nuo vidurinės juostos viršaus, gauname, kad:

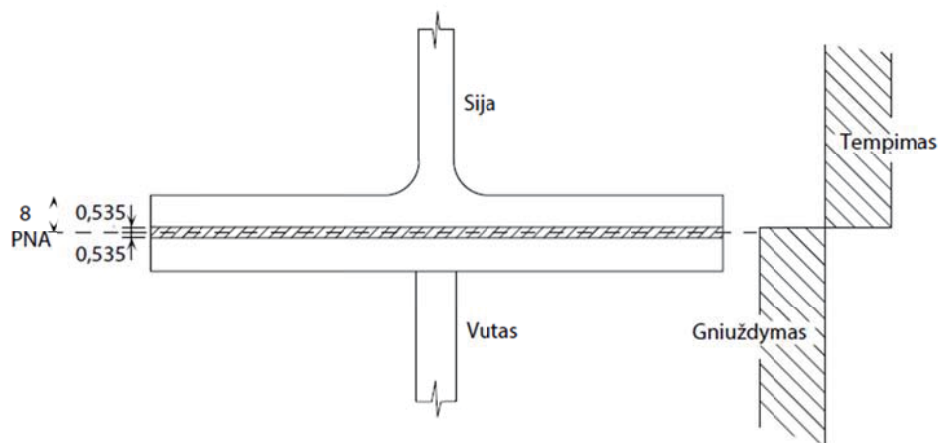
$$3200 + 4774 + 200\chi = 3612 + 2 \times 2338 + (17,2 - \chi) \times 210 \quad (3.28.2)$$

tuomet $\chi = 8.9$ mm

Plastiška neutrali ašis (pna) yra 476 mm nuo jungiamojo pjūvio viršaus.

Skerspjūvio dalis, vienodai pasiskirsčiusi aplink plastiškąją neutralią ašį, yra naudojama atlaikyti ašinį gniuždymą (78,02 kN šiame pjūvyje).

Visas pjūvio, atlaikančio gniuždymą gylis = $\frac{78,02 \times 10^3}{345 \times 210} = 1,07$ mm arba 0,535 mm kiekvienoje plastiškos neutralios ašies pusėje.



31 Pav. PNA neutralioji plastiška ašis

Lenkimo atsparumas

Veiksmingo pjūvio atsparumo momentas yra įvairių sričių suma padauginta iš plastiškos neutralios ašies svirties, padauginta iš konstrukcijos stiprumo. Sritys, skirtos atlaikyti ašinį suspaudimą nėra įtrauktos į atsparumo momento skaičiavimus.

Iš to gauname, kad $M_{c,Rd} = 2425$ kNm

$$M_{Ed} = 607 \text{ kNm}$$

$$607 \text{ kNm} < 2425 \text{ kNm, OK}$$

Lentelė 6 apibendrina kiekvieno skerspjūvio klasifikaciją ir lenkimo atsparumą.

6 lentelė. Lenkimo atsparumai

Skerspjūvio Nr.	Klasifikacija	Modulis	Lenkimo atsparumas kNm
1	Ne 2 klasės	Veiksmingas plastiškumas	2426
2	Ne 2 klasės	Veiksmingas plastiškumas	2104
3	2 klasės	Plastiška	1706
4	2 klasės	Plastiška	1383
5*	1 klasės	Tik sija	900

Šlyties atsparumas

Kaip yra priimtina, pirmojo skerspjūvio šlyties sritį galime laikyti:

$$A_v = h_w t_{w, \min} \quad (3.28.3)$$

kur h_w yra dydis tarp apatinio ir viršutinio jungiamojo pjūvio juostosų.

$$A_v = (501,9 + 17,4 + 525,5) \times 10,8 = 11284 \text{ mm}^2 \quad (3.28.4)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{11284 \times (345 / \sqrt{3})}{1,0} \times 10^{-3} = 2248 \text{ kN} \quad (3.28.5)$$

$$V_{Ed} = 231 \text{ kN}, < 2248 \text{ kN} \quad (3.28.6)$$

Lenkimo ir šlyties sąveika

Kai šlyties jėga ir lenkimo momentas veikia skerspjūvį tuo pačiu metu, šlyties jėgos poveikio galima nepaisyti, jeigu jis yra mažesnis negu 50% plastiško šlyties atsparumo.

$$0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \times 2248 = 1124 \text{ kN} \quad (3.28.7)$$

$$V_{Ed} = 231 \text{ kN}, < 1124 \text{ kN} \quad (3.28.8)$$

Todėl, šlyties jėgos poveikis atsparumo momentui gali būti nepaisomas.

Likusiems skerspjūviams privaloma atlikti tokius pat skaičiavimus.

Atsparumas gniuždymui

Pirmojo skerspjūvio atsparumas gniuždymui, naudojant veiksmingą sritį, gaunamas iš:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19916 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 6871 \text{ kN} \quad (3.28.9)$$

$$N_{Ed} = 78,02 \text{ kN}, < 6871 \text{ kN, OK} \quad (3.28.10)$$

Lenkimo ir ašinės jėgos sąveika

Naudojamas žemiau pateiktas standartinis kriterijus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (3.28.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{78,02}{6871} + \frac{1016}{2425} = 0,43 < 1 \quad (3.28.12)$$

Kadangi nei šlytis nei gniuždymas nesumažina skerspjūvių lenkimo atsparumą, lenkimo atsparumai išlieka tokie pat kaip parodyta lentelėje 6.

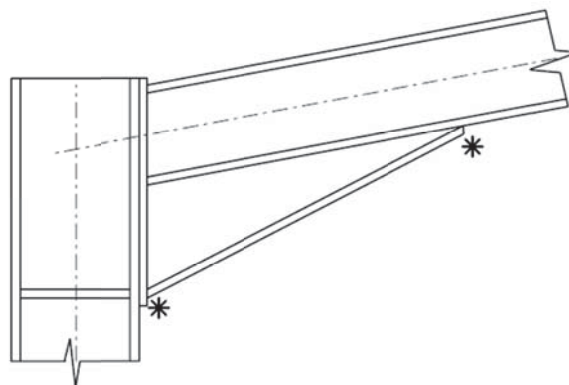
3.29. ĮTVIRTINIMO ATSPARUMAS

Standumo plastiškumo vertinimas nėra plačiai išnagrinėtas Eurokode. Šioje analizėje pateikti du alternatyvūs metodai. Pirmiausia 3.27 punkte, standumo briaunos stabilumas yra įvertinamas apsvarstant ekvivalentišką suspaudimo juostą, vadovaujantis principu, pademonstruotu EN 1993-1-1 6.3.2.4 Pункte. Visų antra, 3.28 punkte, standumo briaunos stabilumas yra įvertinamas naudojant patikrinimą, tinkantį standumo briaunos ilgiui su plastiniu lankstu, įvertinant, atitinkamo plastiškumo reikmę.

3.30. SUPAPRASTINTAS VERTINIMO METODAS

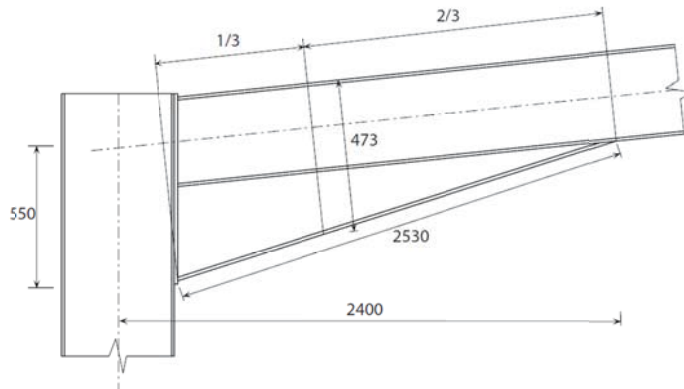
Šiuo būdu patikrinama ekvivalentiškas gniuždomos juostos, sudarytas iš suspaudimo juostos ir 1/3 suspaustos sienutės dalies. Šio, tėjinės formos ekvivalentiškos juostos atsparumas yra palyginamas su tėjine jėga kylančia iš ašinio gniuždymo ir lenkimo momento.

Gniuždymo juostose greta kolonos yra sutvirtinimų, ir aštrijame standumo braunos gale, kaip parodyta schemeje Pav 32.



32 pav. Karnizo schema.

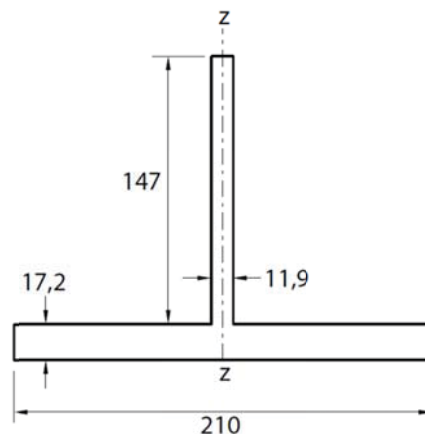
Ekvivalentiškos gniuždomos juostos išmatavimai yra nustatomi taške, kuris yra 1/3 standumo briaunos ilgi nuo giliausio pjūvio (greta kolonos), kaip parodyta 33 Pav.



33 Pav. Ekvivalentiškai gniuždomos juostos išmatavimai.

Bendras ilgis skerspjūvyje, parodytame yra 473 mm. Todėl, tinklo tarp juostosų gylis yra $913 - 17.4 - 16.2 = 879$ mm.

Darant prielaidą, kad pusė sienutės yra gniuždoma, $1/3$ gniuždomos sienutės dalies = $843/6 = 147$ mm. Ekvivalentiško gniuždomos juostos išmatavimai, neskaitant šaknies spindulio, yra matomi 34 Pav.



34 Pav. Ekvivalentiškos gniuždomos juostos išmatavimai, neskaitant šaknies spindulio

$$A = 11,9 \times 147 + 210 \times 17,2 = 5361 \text{ mm}^2 \quad (3.30.1)$$

$$I_z = \frac{147 \times 11,9^3}{12} + \frac{17,2 \times 210^3}{12} = 13,3 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (3.30.1)$$

$$i_z = \sqrt{\frac{13,3 \times 10^6}{5361}} = 25 \text{ mm} \quad (3.30.3)$$

Kad apskaičiuotume lenkimo momento atsparumą,

$$\bar{\lambda} = \frac{2773}{25} \frac{1}{77,5} = 0,64 \quad (3.30.4)$$

Kreivė c turėtų būti naudojama su reikšme, $\alpha = 0,49$.

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = \\ &0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,64 - 0,2) + 0,64^2] = 0,81 \end{aligned} \quad (3.30.5)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} = \frac{1}{0,81 + \sqrt{0,81^2 - 0,64^2}} = 0,77 \quad (3.30.6)$$

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_y}{Y_{M1}} = 0,77 \times \frac{5361 \times 345}{1,0} \times 10^{-3} = 1424 \text{ kN} \quad (3.30.7)$$

Maksimalus gniuždymo įtempimas ir lenkimo įtempimas visam skerspjūviui skerspjūviui gali būti nustatyti iš lentelės 5

$$\text{Maksimalus gniuždymo įtempis} = \frac{103 \times 10^3}{12900} = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maksimalus lenkimo įtempimas yra penktajame skerspjūvyje} = \frac{462 \times 10^6}{2290 \times 10^3} = 202 \text{ N/mm}^2$$

Ekvivalentiško gniuždymo juostos jėga (taikant uniforminį, maksimalų įtempimą) = $5361 \times (8 + 202) \times 10^{-3} = 1126 \text{ kN}$

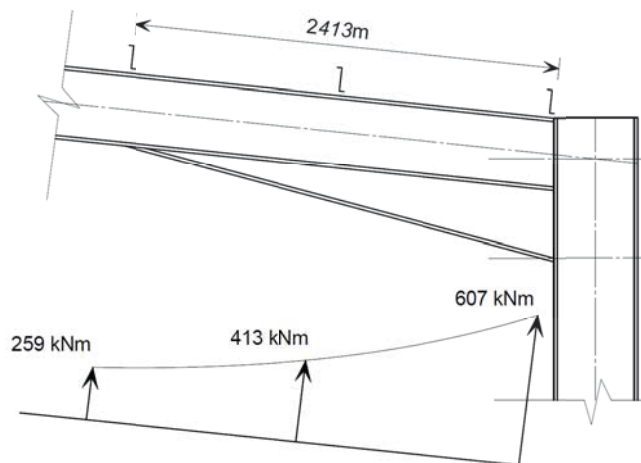
$1126 \text{ kN} < 1424 \text{ kN}$, taigi standumo briauna tarp gniuždomų juostų sutvirtinimų yra stabili.

3.31. TIKRINIMAS NAUDOJANT PLASTIŠKUMO ĮVERTINIMĄ

Kiekviename gale, išilgai standumo briaunos, yra sukamojo klupumo atsparumas, kaip parodyta 35 Pav. Nėra jokių tarpinių ilginių ramsčių.

Šoninio sukamojo klupumo veiksniai gali būti nepaisomi, kai atstumas tarp sukamojo klupumo atsparumo yra ne didesnis kaip L_s , jei tarp sukamojo klupumo atsparumo yra bent vienas tarpinis šoninis sutvirtinimas ne didesniu kaip L_m atstumu.

Nors šis patikrinimas dažniausiai skirtas ilgiam greta plastinio lanksto, šioje analizėje jis naudojamas patogumo dėlei. Kadangi plastinio lanksto nėra, jei briauna tenkins patikrinimą, jis yra pakankamas.



35 Pav. Schema sukamojo klupumo atsparumui tikrinti

$$L_m = \frac{38i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756C_1^2} \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \quad (3.31.1)$$

Paprastumo dėlei, daroma prielaida, kad ilginis ramstis standumo briaunos elemento viduryje yra sulygiuotas su (lygiagrečiai) trečiuoju skerspjūviu (žiūrėti schemą 19)

Panašiai, daroma prielaida, kad ilginis ramstis standumo briaunos elemento gale yra sulygiuotas su pirmuoju skerspjūviu.

Tarp 1 ir 3 skerspjūvių:

$$\Psi = \frac{413}{567} = 0,73 \quad (3.31.2)$$

$$\therefore C_1 = 1,20 \quad (3.31.3)$$

Tarp 3 ir 5 skerspjūvių:

$$\Psi = \frac{259}{413} = 0,62 \quad (3.31.4)$$

$$\therefore C_1 = 1,29 \quad (3.31.5)$$

Naudojama didžiausia L_m reikšmė, t.y. $C_1 = 1,20$

Pagal Eurokodą, santykis $\frac{W_{pl}^2}{AIt}$ turi būti naudojamas, kaip maksimali segmento reikšmė.

Šiuo atveju, apsvaryti 1 ir 3 skerspjūviai, kaip parodyta lentelėje 8

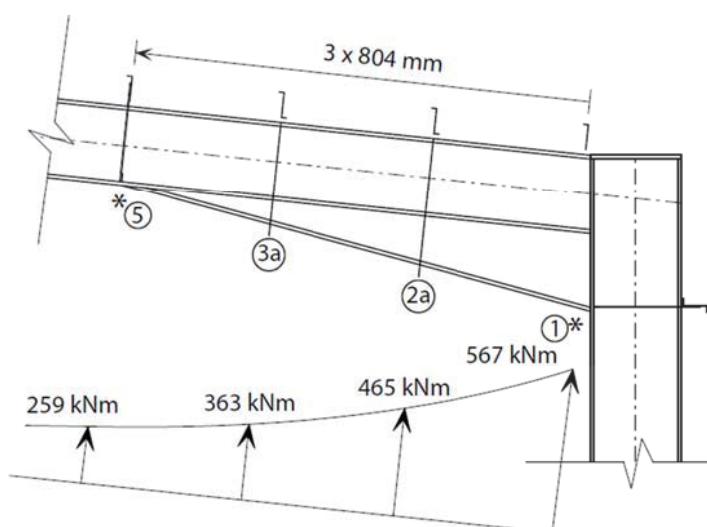
Pirmojo skerspjūvio segmento savybės duoda aukščiausią $\frac{W_{pl}^2}{AIt}$ santykį. Todėl L_m reikšmė yra apskaičiuojama pagal pirmojo skerspjūvio segmento savybes.

$$I_z = 4660 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (3.31.6)$$

$$i_z = \sqrt{\frac{4660 \times 10^4}{23500}} = 44.5 \text{ mm} \quad (3.31.7)$$

$$L_m = \frac{38 \times 44.5}{\sqrt{\frac{1}{57.4} \left(\frac{78.02 \times 10^3}{23500} \right)^2 + \frac{1}{756 \times 1.2^2} \frac{(7544 \times 10^3)^2}{23500 \times 188 \times 10^4} \left(\frac{345}{235} \right)^2}} = 1042 \text{ mm} \quad (3.31.8)$$

Atstumas tarp ilginių ramsčių yra 1333 mm, > 1042 mm, OK



36 pav. Schema su pirtvarkytomis ramsčių pozīcijomis

Todēl, tam, kad galētume pasinaudoti Anekso BB metodu, atstumas tarp šonīnū sutvīrtinīmū privalo būt mažesnis.

Panaudojamas papildomas šoninis sutvīrtinimas, tam, kad išplanavimas atrodytū kaip parodyta schemoje 25.

Lentelēje 7 pateikta jungiamjo pjūvio, sulygiuoto su patikslinta ilgīnio ramsčio padētimi, geometriniai duomenys, būtinī tolesniems skaičiavimams.

7 lentelē. Jungiamjo pjūvio geometriniai duomenys

Skerspjūvio nr.	Pjūvio gylis (mm)	I_z	i_z	Plastinė neutrali ašis (mm)
1	545	4660	44,5	476
2a	363	4660	46,7	334
3a	182	4660	49,3	192
5	0	2690	45,7	112

Ribinis atstumas tarp tarpiniū sutvīrtinīmū dabar gaunas iš:

$$L_m = \frac{38i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756C_1^2} \frac{W_{pl,y}^2}{A I_T} \left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \quad (3.31.9)$$

Tam, kad nustatytume žemiausią C_1 reikšmę, apsvarstomas kiekvienas segmentas:

$$\Psi = \frac{465}{567} = 0,80 \quad (3.31.10)$$

$$\therefore C_1 = 1,13 \quad (3.31.11)$$

$$\Psi = \frac{363}{465} = 0,78 \quad (3.31.12)$$

$$\therefore C_1 = 1,15 \quad (3.31.13)$$

$$\Psi = \frac{259}{363} = 0,73 \quad (3.31.14)$$

$$\therefore C_1 = 1,19 \quad (3.31.15)$$

Naudojama reikšmė $C_1 = 1,13$, padedanti gauti didžiausią L_m ilgį.

Pagal Eurokodą, santykis $\frac{W_{pl}^2}{A I_T}$ turi būti naudojamas, kaip maksimali segmento reikšmė.

Šiuo atveju nagrinėjami skerspjūviai 1, 2a, 3a ir 5, kaip parodyta lentelėje 8.

Pirmojo skerspjūvio segmento savybės duoda aukščiausią $\frac{W_{pl}^2}{A I_T}$ santykį. Todėl L_m reikšmė yra apskaičiuojama pagal pirmojo skerspjūvio segmento savybes.

$$I_z = 4660 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (3.31.15)$$

$$i_z = \sqrt{\frac{4660 \times 10^4}{23500}} = 44,5 \text{ mm} \quad (3.31.16)$$

$$L_m = \frac{38 \times 44,5}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{78,02 \times 10^3}{23500}\right) + \frac{1}{756 \times 1,13^2} \frac{(7544 \times 10^3)^2}{23500 \times 188 \times 10^4} \left(\frac{345}{235}\right)^2}} = 984 \text{ mm} \quad (3.31.17)$$

Tarpas tarp ilginių ramsčių yra 804 mm, < 984 mm, OK

Kadangi L_m reikalavimai yra patenkinti, galime apskaičiuoti L_s reikšmę.

Tuomet:

$$L_s = \frac{\sqrt{C_n L_k}}{c} \quad (3.31.18)$$

Kur:

$$C_n = \frac{12R_{max}}{[R_1 + 3R_2 + 4R_3 + 3R_4 + R_5 + 2(R_5 - R_E)]} \quad (3.31.19)$$

Kai:

$$R = \frac{M_{y,Ed} + aN_{Ed}}{f_y W_{pl,y}} \quad (3.31.20)$$

$$L_k = \frac{\left(5,4 + \frac{600f_y}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right) i_z}{\sqrt{5,4 \left(\frac{f_y}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right)^2 - 1}} \quad (3.31.21)$$

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)} \left(\frac{h_h}{h_s}\right)^{2/3} \sqrt{\frac{L_h}{L_y}} \quad (3.31.22)$$

Žemiau esantys skaičiavimai pateikia R reikšmę galuose, ketvirčio taškuose ir vidurio taške, (kuri atitinka skerspjūvius 1, 2, 3, 4 ir 5). Matmuo a yra atstumas tarp ilginio ramsčio centro ir jungiamojo pjūvio centro.

$$R_E = \max(R_1, R_5) = 0,564 \quad (3.31.23)$$

$$R_5 = \max(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5) = 0,564 \quad (3.31.24)$$

$$R_{max} = \max(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5) = 0,564 \quad (3.31.25)$$

$$C_n = \frac{12 \times 0,564}{[0,417 + 3 \times 0,439 + 4 \times 0,459 + 3 \times 0,470 + 0,564 + 2(0,564 - 0,564)]} = 1,221 \quad (3.31.26)$$

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{536,7}{17,4} - 9\right)} \left(\frac{545,1}{536,7}\right)^{2/3} \sqrt{\frac{2647}{2647}} = 1,14 \quad (3.31.25)$$

$$L_k = \frac{\left(5,4 + \frac{600 \times 345}{210000}\right) \left(\frac{536,7}{17,4}\right) 45,7}{\sqrt{5,4 \left(\frac{345}{210000}\right) \left(\frac{536,7}{17,4}\right)^2 - 1}} = 3300 \text{ mm} \quad (3.31.28)$$

$$L_s = \frac{\sqrt{1,221 \times 3300}}{1,14} = 3199 \text{ mm} \quad (3.31.29)$$

Atstumas tarp sukamojo klūpdimio atspario kiekviename standumo briaunos gale yra 2648 mm.

2648 mm < 3199 mm, OK

Įrodyta, kad standumo briauna yra tinkama stiprumo ir lenkimo momento stabilumo atžvilgiu.

3.32. NUOKRYPIAI

Vienanavio portalo rėmo horizontalūs nukrypimai priklausomi nuo tipinių veiksnių apkrovos reikšmių pateikti lentelėje 8. Skaičiuojant šiuos nukrypimus, analizė nustatė, kad sutvirtintų atramų standumas yra 20% kolonos standumo.

8 lentelė. Rėmo horizontalūs nuokrypiai

Poveikiai, apkrovos	δ (mm)
Sniegas	44,3
Kintama	11,6
Vėjas	16,5

IŠVADOS

Visi magistro baigiamajame darbe priimti sprendimai užtikrina visus svarbiausius projektuojamų pastatų parametrus, užtikrinančius mechaninį pastatų patvarumą ir pastovumą, įvertinus konstrukcijų savybes, pastovumą, statybos metu užtikrinančias sąlygas.

Pagal rėmo skaičiavimo rezultatus parinkti metalinio karkaso elementai, pagal jų laikomąją galią nustatytos apkrovos į pamatus.

Atlikus išsamius analizinius bei kompiuterinio modeliavimo skaičiavimus buvo išspresti šie pagrindiniai darbo uždaviniai:

1. Atlikus literatūros analizę nustatytas plastinių lankstų susidarymas, didžiausi lenkimo momentų taškai ir lenkimo momentų persiskirstymas, rėmo elementuose, nagrinėjant ir taikant plastinę analizę.
2. Atlikus portalinio rėmo analizinį tyrimą, taikant plastinę analizę, gauti rezultatai parodė, kad taikant šį metodą, visuminis konstrukcijų maksimalus elemento išnaudojimas tenkina sąlygą $1 \geq 0,81$, o tamprus tobulai plastiško $1 \geq 0,63$.
3. Atlikus portalinio rėmo kompiuterinę analizę, nepritaikius plastinio lanksto analizės, gauti rezultatai parodė, kad taikant šį skaičiavimą, visuminis konstrukcijų maksimalus elemento išnaudojimas tenkina sąlygą $1 \geq 0,93$.
4. Atlikus portalinio rėmo kompiuterinį tyrimą, taikant plastinę analizę, gauti rezultatai parodė, kad naudojant šį tyrimą visuminis konstrukcijų maksimalus elemento išnaudojimas tenkina sąlygą $1 \geq 0,83$, o tamprus tobulai plastiško $1 \geq 0,65$.

Gavus ir palyginus plastinės analizės rezultatus galima daryti išvadą, kad taikant plastinę analizę kompiuteriniu modeliavimo ir analiziniu būdu galima teigti, kad laikančio elemento išnaudojimas portaliniame rėme gaunamas 30%~33% mažesnis, ko pasekoje galime optimizuoti konstrukcijas, mažinti elementų skerspjūvius.

LITERATŪROS SARAŠAS

1. J.Atkočiūnas ir R. Karkauskas. *Tampriju plastinių strypinių konstrukcijų optimizavimas*: vadovėlis. Vilnius: 2010, 376p, ISBN: 9789955285854.
2. M.R.Shivekar. *Limit state design structural steel*: vadovėlis. United State of America: 2013, 376p, ISBN: 9788120347847.
3. G.Marčiukaitis ir J.Valivonis. *Statybinės konstrukcijos ir jų projektavimo pagal euronormas pagrindai*: vadovėlis. Vilnius: 2010, 389p, ISBN: 9789955286769.
4. Luis Simoes da Silva,Rui Simoes,Helena Gervasio. *Design of Steel Structures 2nd Edition*: Portugal: 2010, 493p, ISBN: 9789291471348.
5. Luis Simoes da Silva,Rui Simoes,Helena Gervasio. *Design of Steel Structures 1st Edition*: Portugal: 2010, 438p, ISBN: 9789291471157.
6. Abi Aghayere and Jason Vigil. *Structural Steel Design* : United State of America: 2009, 692p, ISBN: 9780135064160.
7. Charles G.Salmon,John E.Johnson,Faris A.Malhas. *Steel Structural* : United State of America: 2009, 884p, ISBN: 9780132061193.
8. Alan William. *Steel Structures Design* : United State of America: 2011, 546p, ISBN: 9780071638371.
9. Wiley Blackwelland .*Steel Designers Manual* : Great Britain: 2016, 1369p, ISBN: 9781119249863.
10. Karuna Moy Ghosh.*Analysis and Desigh Practice of Steel Structures* : India: 2014, 327p, ISBN: 9788120349377.
12. Kleiber, M.; König, J. A. *Inelastic solids and structures* : Antoni Sawczuk memorial volume, Swansea 1990. UK: Pineridge Press, 558 p.
13. G.Marčiukaitis ir J.Valivonis. *Statybinės konstrukcijos ir jų projektavimo pagal euronormas pagrindai*: vadovėlis. Vilnius: 2010, 389p, ISBN: 9789955286769.
14. Koiter, W. T. 1956. *A new general theorem on shake-down of elastic-plastic structures*, Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen B (59): 24–34.
15. König, J. A. 1987. *Shakedown of Elastic-Plastic Structures*. Elsevier Science Ltd. DOI: 10.1016/B978-0-444-98979-6.50018-9, 224 p.
16. Van Long, H.; Dang Hung, N. 2008. *Second-order plastic-hinge analysis of 3-D steel frames including strain hardening effects*, *Engineering Structures* 30(12): 3505–3512. DOI: 10.1016/j.engstruct.2008.05.013.

17. Palizzolo, L. 2004. *Optimization of continuous elastic perfectly plastic beams*, *Computers & Structures* 82(4–5): 397–411. DOI: 10.1016/j.compstruc.2003.10.015.
18. Pochtman, Y. M.; Piatigorskii, Z. I. 1978. *Raschet i optimalnoe proektirovanie konstruktsiy s uchotom prisosobiaemosti*, Moskva: Nauka, 208 p.
19. Ponter, A. R. S. 1972. *An Upper Bound on the Small Displacements of Elastic, Perfectly Plastic Structures*, *Journal of Applied Mechanics* 39(4): 959. DOI: 10.1115/1.3422898.
20. Rzhantsyn, A. R. 1954. *Analysis of Structures Taking into Account Plastic Properties of Materials* (in Russian), Moscow: Stroizdat, 126 p.
21. Symonds, P. S.; Prager, W. 1950. *Elastic-plastic analysis of structures subjected to loads varying arbitrarily between prescribed limits*, *Appl. Mech.* 17: 315–324.
22. Respublikines statybos normos RSN 156-94 *Statybine klimatologija* Lietuvos respublikos statybos ir urbanistikos ministerija
23. Vidmantas Gakas *Plokšti statišškai išsprendžiami rėmai*. Mokomoji knyga 2015 88p. ISBN 9955-09-379-X
24. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.04:2003 *Poveikiai ir apkrovos*. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2003 m gegužės 15 d. Įsakymu Nr. 233
25. Praktinio taikymo vadovas STR 2.05.04:2003 *13 priedas*.
26. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.08:2005 *Plieninių konstrukcijų projektavimas. pagrindinės nuostatos*. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m vasario 18 d. Įsakymu Nr. D1-101
27. LR aplinkos ministerija Vilniaus Gedimino technikos universitetas *Apkrovų ir poveikių skaičiavimas pagal darniosios Europos standartus priimtus Lietuvos standartais praktinio taikymo vadovas* Vilnius: 2010, 389p, ISBN: 9789955286769.
28. LIETUVOS STANDARTAS LST EN 1993-1-1+AC *Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas*. LIETUVIŠKOJI VERSIJA ICS 91.010.30; 91.080.10 Nuo 2010-03-01 pakeičia LST L ENV 1993-1-1+A1+A2:2000

PRIEDAI

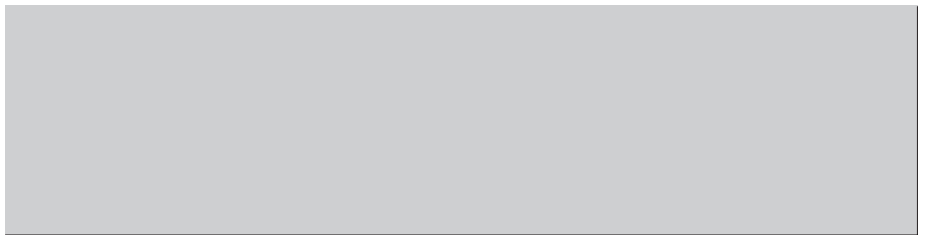


STRUCTURAL ANALYSIS

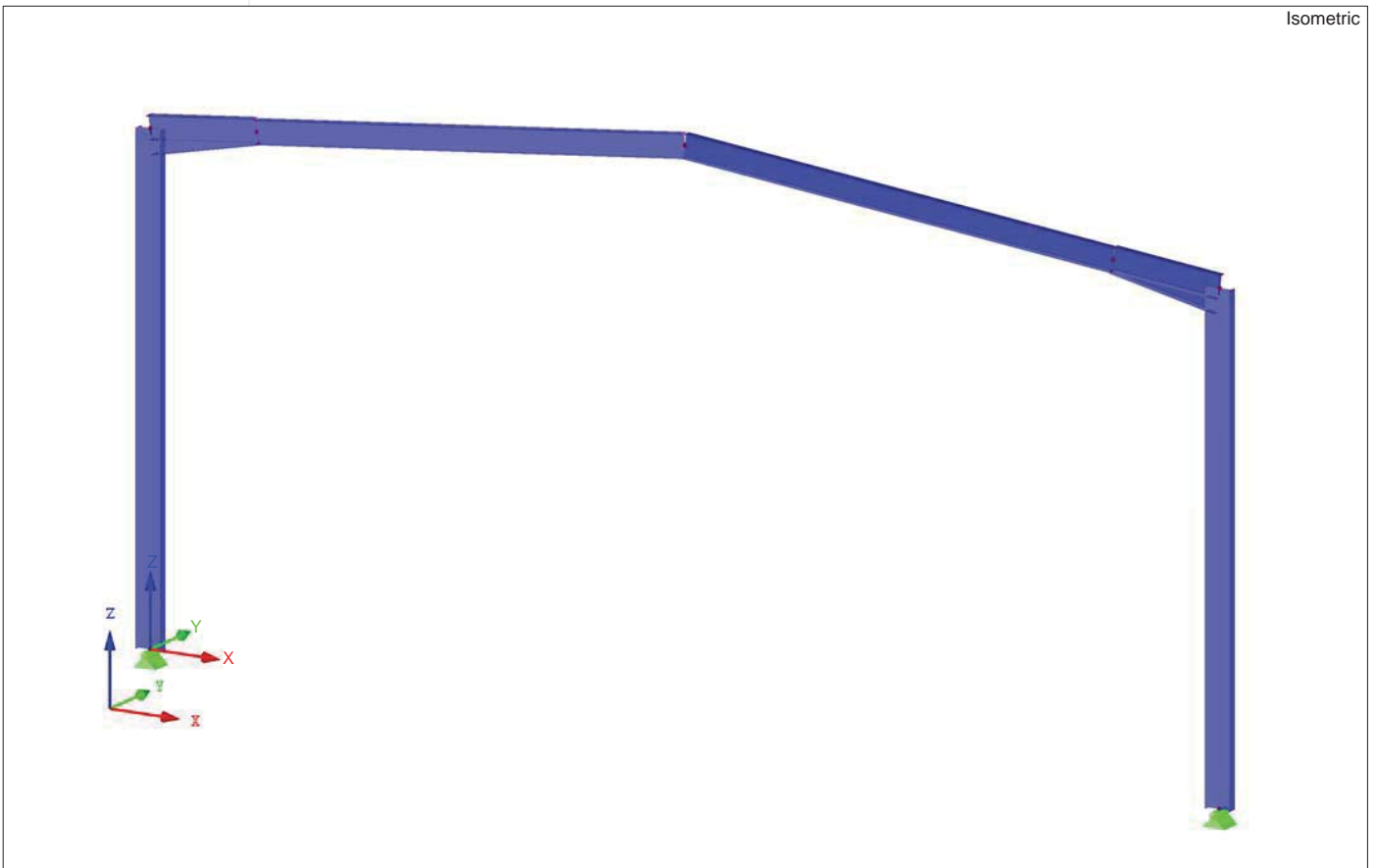
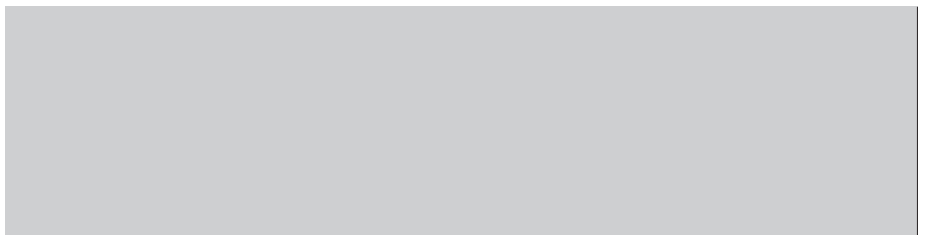
PROJECT



CLIENT



CREATED BY





Project: Remas 24
Remas 24 Magistru
Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12
Date: 1/3/2018

CONTENTS

Model - General Data	2	LC2 - SL - 3.2 Member Loads	15
FE Mesh Settings	2	LC3 - WL - 3.2 Member Loads	15
1 Model		Results - Load Cases, Load Combinations	
1.1 Nodes	2	Results - Summary	16
1.2 Lines	3	4.0 Nodes - Support Forces	18
1.3 Materials	3	4.1 Cross-Sections - Internal Forces	18
1.7 Nodal Supports	3	4.1.2 Results - Result Combinations	
1.13 Cross-Sections	3	4.1 Nodes - Support Forces	19
1.15/1 Member Eccentricities - Absolute	3	4.1.2 Cross-Sections - Internal Forces	19
1.15/2 Member Eccentricities - Relative	3	RF-STEEL EC3	
1.17 Members	3	CA1 - Design of steel members according to Eurocode 3	
2 Load Cases and Combinations		General Data	22
2.1 Load Cases	4	Materials	22
2.1.1 Load Cases - Calculation Parameters	4	1.1 Cross-Sections	22
2.5 Load Combinations	4	1.4 Intermediate Lateral Restraints	22
2.5.2 Load Combinations - Calculation Parameters	4	1.5 Effective Lengths - Members	22
2.7 Result Combinations	5	1.9 Serviceability Data	23
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, LC1: DL, In Y-direction	6	1.12 Parameters - Members	23
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, LC2: SL, In Y-direction	7	2.4 Design by Member	23
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, LC3: WL, In Y-direction	8	RF-STEEL Plastic	
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, CO1: I Derins, In Y-direction	9	CA1 - Design of steel members according to the Partial Internal Forces Method (PIF-method)	
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, CO2: II Derins, In Y-direction	10	General Data	25
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, CO3: III Derins, In Y-direction	11	Materials	25
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, CO4: IV Derins, In Y-direction	12	1.3 Cross-Sections	25
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, RC1: Saugos ribinis buvis, In Y-direction	13	2.4 Design by Member	25
Graphic Internal forces M_y , Support Reactions, RC2: Tinkamumo ribinis buvis, In Y-direction	14	RF-EL-PL	
3 Loads		CA1 - Elastic-plastic design	
LC1 - DL - 3.2 Member Loads	15	1.1.1 General Data	27
		1.1.2 Details	27
		1.2 Materials	27
		1.3.1 Cross-Sections	27
		2.1 Design by Cross-Section	27

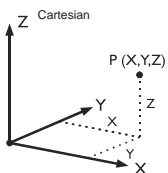
MODEL - GENERAL DATA

General	Model name	: Remas 24-woot-300-2017-12-12
	Project name	: Remas 24
	Project description	: Remas 24 Magistru
	Type of model	: 2D-XZ (ux/uz/ϕy)
	Positive direction of global axis Z	: Upward
	Classification of load cases and combinations	: According to Standard: EN 1990 + EN 1997 National Annex: CEN - EU
Options	<input type="checkbox"/> RF-FORM-FINDING - Find initial equilibrium shapes of membrane and cable structures	
	<input type="checkbox"/> RF-CUTTING-PATTERN	
	<input type="checkbox"/> Piping analysis	
	<input type="checkbox"/> Use CQC Rule	
	<input type="checkbox"/> Enable CAD/BIM model	
	Standard Gravity	g : 10.00 m/s ²

FE MESH SETTINGS

General	Target length of finite elements	l_{FE}	: 0.5 m
	Maximum distance between a node and a line to integrate it into the line	ϵ	: 0.0 m
	Maximum number of mesh nodes (in thousands)		: 500
Members	Number of divisions of members with cable, elastic foundation, taper, or plastic characteristic		: 10
	<input checked="" type="checkbox"/> Activate member divisions for large deformation or post-critical analysis		
	<input checked="" type="checkbox"/> Use division for members with node lying on them		
Surfaces	Maximum ratio of FE rectangle diagonals	Δ_D	: 1.800
	Maximum out-of-plane inclination of two finite elements	α	: 0.50 °
	Shape direction of finite elements		: Triangles and quadrangles <input checked="" type="checkbox"/> Same squares where possible

1.1 NODES



Node No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	Node Coordinates		Comment
				X [m]	Z [m]	
1	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	
2	Standard	-	Cartesian	24.000	0.000	
3	Standard	-	Cartesian	0.000	10.480	
4	Standard	-	Cartesian	24.000	10.480	
5	Standard	-	Cartesian	2.387	10.731	
6	Standard	-	Cartesian	21.613	10.731	



Project: Remas 24
Remas 24 Magistru
Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12
Date: 1/3/2018

1.1 NODES

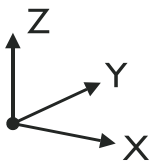
Node No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	Node Coordinates		Comment
				X [m]	Z [m]	
7	Standard	-	Cartesian	12.000	11.741	

1.2 LINES

Line No.	Line Type	Nodes No.	Line Length		Comment
			L [m]		
1	Polyline	1,3	10.480	Z	
2	Polyline	2,4	10.480	Z	
3	Polyline	3,5	2.400	XZ	
4	Polyline	4,6	2.400	XZ	
5	Polyline	5,7	9.666	XZ	
6	Polyline	6,7	9.666	XZ	

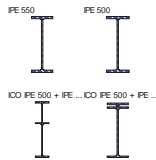
1.3 MATERIALS

Matl. No.	Modulus E [kN/cm ²]	Modulus G [kN/cm ²]	Poisson's Ratio ν [-]	Spec. Weight γ [kN/m ³]	Coeff. of Th. Exp. α [1/°C]	Partial Factor γ _M [-]	Material Model
2	Steel S 355 J2 EN 21000.00	10025-2:2004-11 8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic
3	Steel S 355 J2 EN 21000.00	10025-2:2004-11 8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic



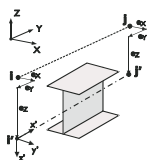
1.7 NODAL SUPPORTS

Support No.	Nodes No.	Axis System	Support or Spring [kN/m] [kNm/rad]			Comment
			u _x	u _z	φ _y	
2	1,2	Global X,Y,Z	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



1.13 CROSS-SECTIONS

Section No.	Matl. No.	J [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Principal Axes α [°]	Rotation α' [°]	Overall Dimensions [mm]	
							Width b	Height h
1	IPE 550 Euronorm 19-57	134.00	67120.00	57.65	0.00	0.00	210.0	550.0
2	IPE 500 Euronorm 19-57	116.00	48200.00	48.06	0.00	0.00	200.0	500.0
3	ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	178.86	144653.48	77.46	0.00	0.00	200.0	800.0
4	ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	150.14	68577.04	51.12	0.00	0.00	200.0	537.0



1.15/1 MEMBER ECCENTRICITIES - ABSOLUTE

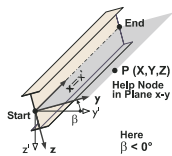
Ecc. No.	Reference System	Member Start [mm]		Member End [mm]		Member hinge location	
		e _{i,x}	e _{i,z}	e _{i,x}	e _{i,z}	Member Start	Member End
1	Global	0.0	0.0	0.0	0.0	at member	at member
2	Global	0.0	0.0	0.0	0.0	at member	at member
3	Global	0.0	0.0	0.0	0.0	at member	at member

1.15/2 MEMBER ECCENTRICITIES - RELATIVE

Ecc. No.	Cross-Section Alignment		Transverse offset from cross-section of another obj.				Axial offset from adjacent	
	y-Axis	z-Axis	Object Type	Object No.	y-Axis	z-Axis	Member Sta	Member End
1	Middle	Bottom (+z)	Member	1	Middle	Middle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Middle	Bottom (+z)	Member	1	Middle	Top (-z)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Middle	Bottom (+z)	Member	1	Middle	Bottom (+z)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.17 MEMBERS

Mbr. No.	Line No.	Member	Rotation		Cross-Section		Hinge No.		Ecc. No.	Div. No.	Length L [m]	
			Type	β [°]	Start	End	Start	End				
1	1	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	-	Z
2	2	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	-	Z
3	3	Beam	Angle	0.00	3	4	-	-	3	-	Linear	XZ
4	4	Beam	Angle	0.00	3	4	-	-	3	-	Linear	XZ
5	5	Beam	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	-	XZ
6	6	Beam	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	-	XZ





LOADS

Project: Remas 24 Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12 Date: 1/3/2018
Remas 24 Magistru

2.1 LOAD CASES

Load Case	Load Case Description	EN 1990 + 1997 CEN Action Category	Self-Weight - Factor in Direction			
			Active	X	Y	Z
LC1	DL	Permanent	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000		
LC2	SL	Snow (H ≤ 1000 m a.s.l.)	<input type="checkbox"/>			-1.000
LC3	WL	Wind	<input type="checkbox"/>			

2.1.1 LOAD CASES - CALCULATION PARAMETERS

Load Case	Load Case Description	Calculation Parameters	
LC1	DL	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Geometrically linear analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	
LC2	SL	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Geometrically linear analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	
LC3	WL	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Geometrically linear analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	

2.5 LOAD COMBINATIONS

Load Combin.	DS	Load Combination Description	No.	Factor	Load Case	
					LC	DL
CO1		I Derinys	1	1.35	LC1	DL
			2	1.30	LC2	SL
CO2		II Derinys	1	1.35	LC1	DL
			2	1.30	LC2	SL
			3	0.78	LC3	WL
CO3		III Derinys	1	1.35	LC1	DL
			2	1.50	LC2	SL
			3	0.65	LC3	WL
CO4		IV Derinys	1	1.00	LC1	DL
			2	1.30	LC3	WL

2.5.2 LOAD COMBINATIONS - CALCULATION PARAMETERS

Load Combin.	Description	Calculation Parameters	
CO1	I Derinys	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Second order analysis (P-Delta) Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Picard Options : <input checked="" type="checkbox"/> Consider favorable effects due to tension : <input checked="" type="checkbox"/> Refer internal forces to deformed system for: : <input checked="" type="checkbox"/> Normal forces N : <input checked="" type="checkbox"/> Shear forces V _y and V _z : <input checked="" type="checkbox"/> Moments M _y , M _z and M _T Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Materials (partial factor γ _M) : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	
CO2	II Derinys	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Second order analysis (P-Delta) Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Picard Options : <input checked="" type="checkbox"/> Consider favorable effects due to tension : <input checked="" type="checkbox"/> Refer internal forces to deformed system for: : <input checked="" type="checkbox"/> Normal forces N : <input checked="" type="checkbox"/> Shear forces V _y and V _z : <input checked="" type="checkbox"/> Moments M _y , M _z and M _T Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Materials (partial factor γ _M) : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	
CO3	III Derinys	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Second order analysis (P-Delta) Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Picard Options : <input checked="" type="checkbox"/> Consider favorable effects due to tension : <input checked="" type="checkbox"/> Refer internal forces to deformed system for: : <input checked="" type="checkbox"/> Normal forces N : <input checked="" type="checkbox"/> Shear forces V _y and V _z : <input checked="" type="checkbox"/> Moments M _y , M _z and M _T Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Materials (partial factor γ _M) : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) : <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)	
CO4	IV Derinys	Method of analysis : <input checked="" type="radio"/> Second order analysis (P-Delta) Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="radio"/> Picard Options : <input checked="" type="checkbox"/> Consider favorable effects due to tension : <input checked="" type="checkbox"/> Refer internal forces to deformed system for: : <input checked="" type="checkbox"/> Normal forces N : <input checked="" type="checkbox"/> Shear forces V _y and V _z : <input checked="" type="checkbox"/> Moments M _y , M _z and M _T Activate stiffness factors of: : <input checked="" type="checkbox"/> Materials (partial factor γ _M) : <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z)	

**LOADS**

Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

2.5.2 LOAD COMBINATIONS - CALCULATION PARAMETERS

Load Combin.	Description	Calculation Parameters
		: <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)

2.7 RESULT COMBINATIONS

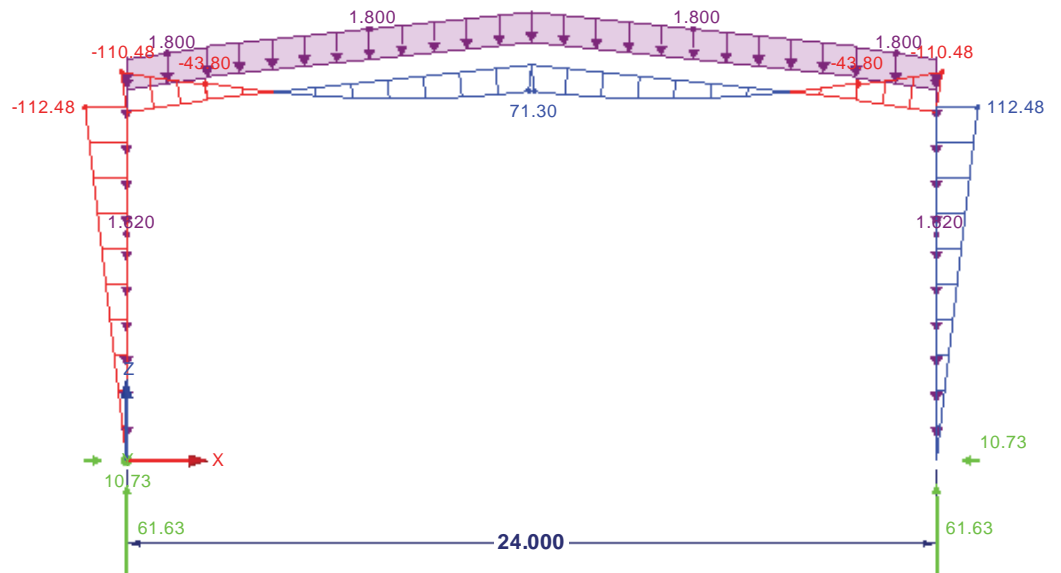
Result Combin	Description	Loading
RC1	Saugos ribinis buvis	CO1 or to CO4
RC2	Tinkamumo ribinis buvis	CO1 or to CO4



INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

LC 1: DL
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
Max P-Z': -61.63, Min P-Z': -61.63 kN
Max P-X': 10.73, Min P-X': -10.73 kN
Max M-y: 112.48, Min M-y: -112.48 kNm

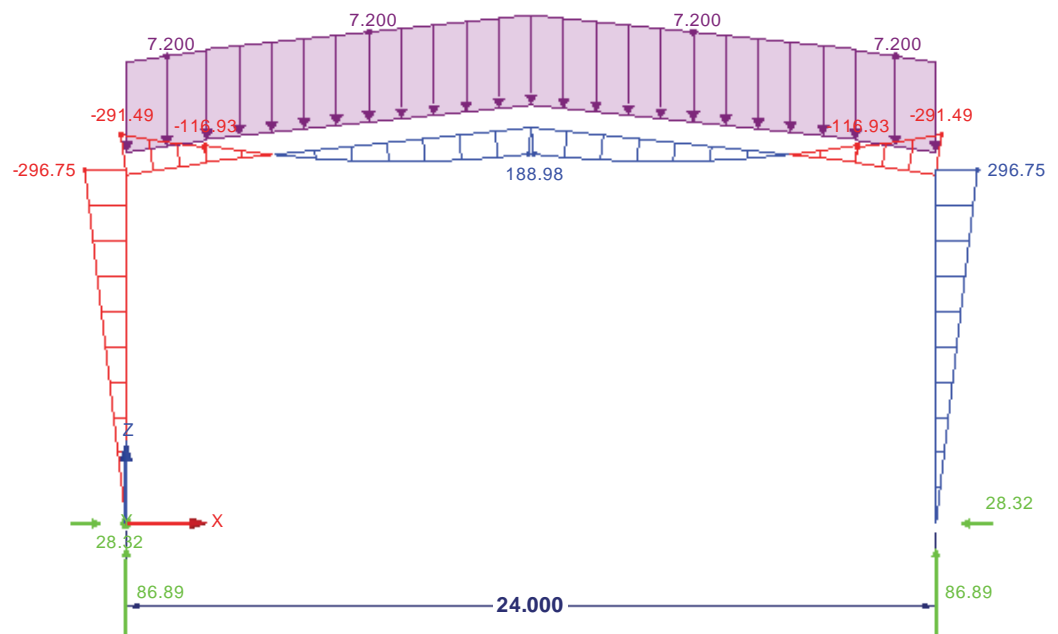
4.488 m



INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

LC 2: SL
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
Max P-Z': -86.89, Min P-Z': -86.89 kN
Max P-X': 28.32, Min P-X': -28.32 kN
Max M-y: 296.75, Min M-y: -296.75 kNm

4.488 m



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

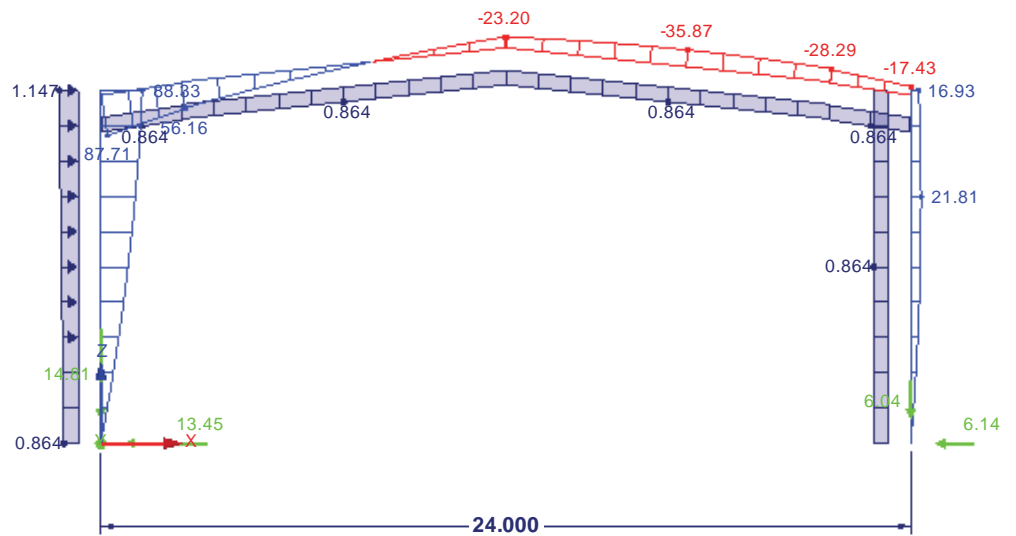
Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

LC 3: WL
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
Max P-Z': 14.81, Min P-Z': 6.04 kN
Max P-X': 13.45, Min P-X': 6.14 kN
Max M-y: 88.33, Min M-y: -35.87 kNm

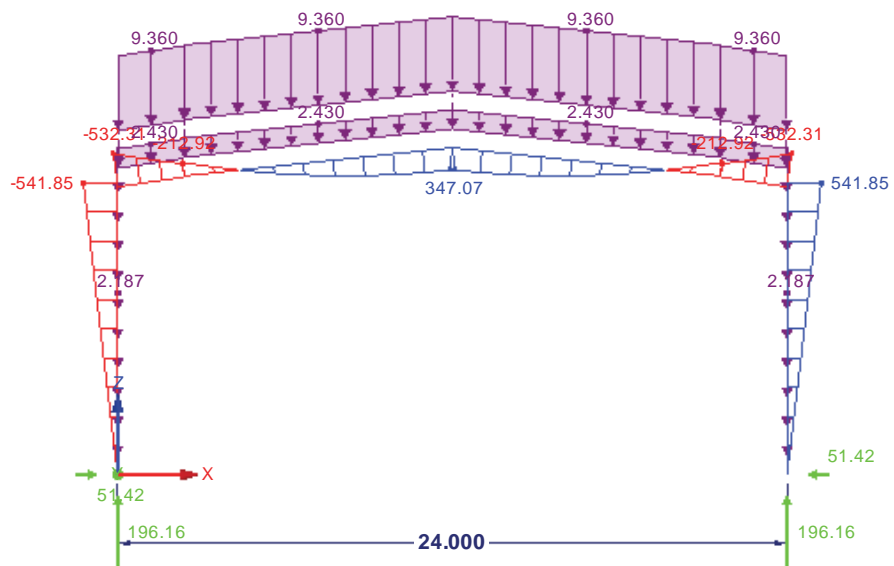
4.488 m



INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

CO 1: I Derinys
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
Max P-Z': -196.16, Min P-Z': -196.16 kN
Max P-X': 51.42, Min P-X': -51.42 kN
Max M-y: 541.85, Min M-y: -541.85 kNm

5.43 m



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

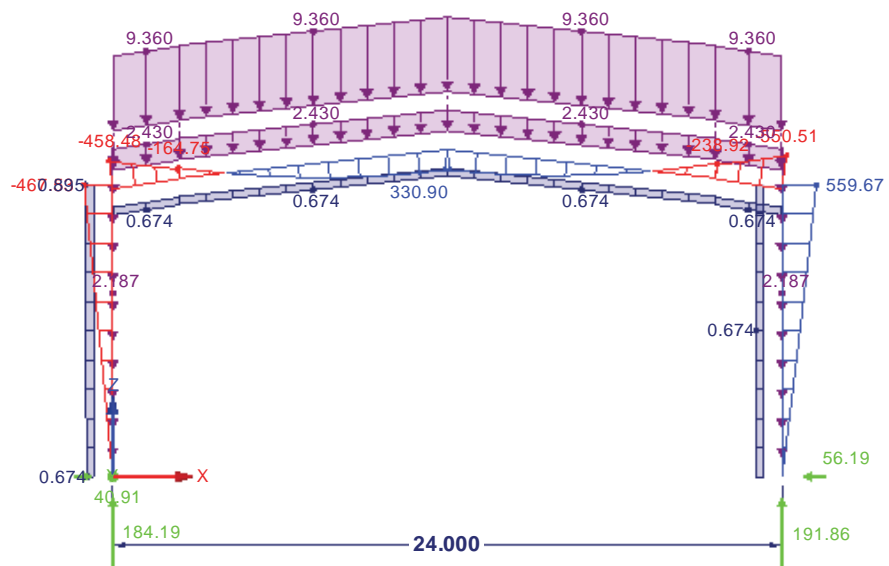
Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

CO 2: II Derinys
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
 Max P-Z': -184.19, Min P-Z': -191.86 kN
 Max P-X': 56.19, Min P-X': -40.91 kN
 Max M-y: 559.67, Min M-y: -550.51 kNm

5.43 m



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

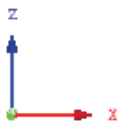
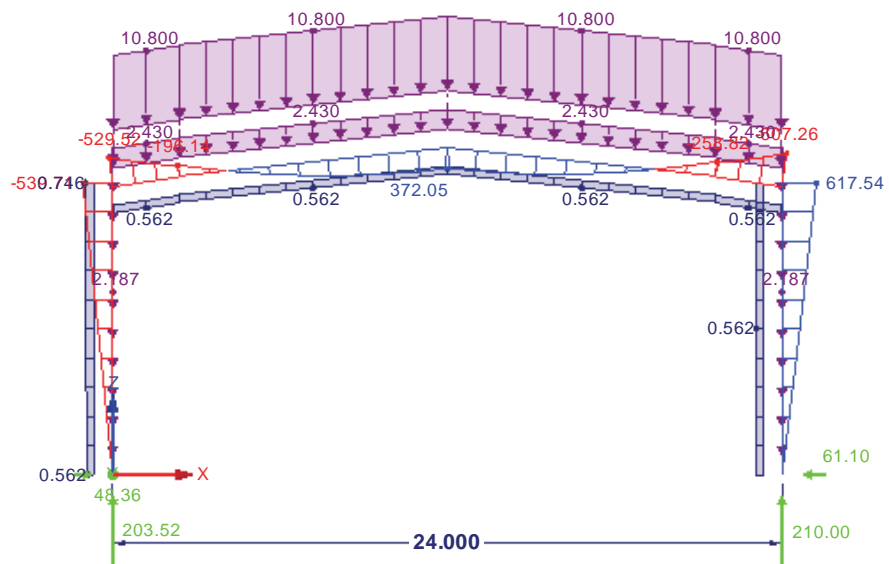
Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

CO 3: III Derinys
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
 Max P-Z': -203.52, Min P-Z': -210.00 kN
 Max P-X': 61.10, Min P-X': -48.36 kN
 Max M-y: 617.54, Min M-y: -607.26 kNm

5.43 m



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

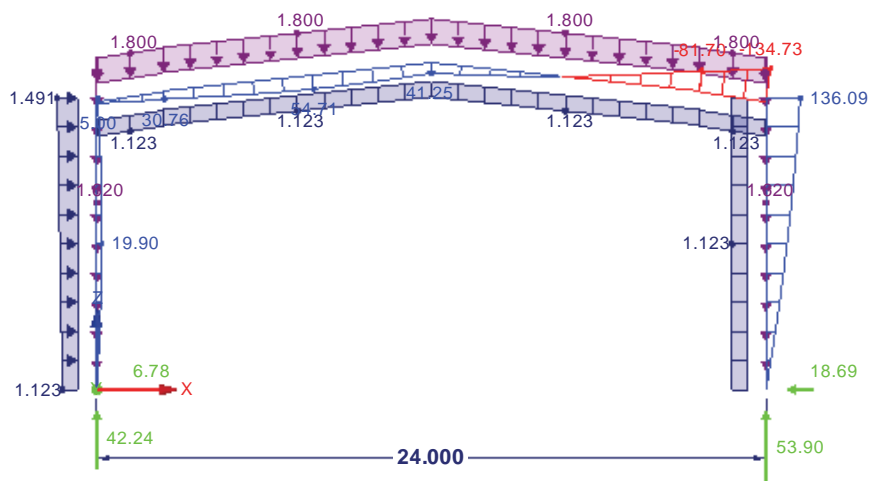
Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

CO 4: IV Derinys
Loads [kN/m]
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
 Max P-Z': -42.24, Min P-Z': -53.90 kN
 Max P-X': 18.69, Min P-X': 6.78 kN
 Max M-y: 136.09, Min M-y: -134.73 kNm

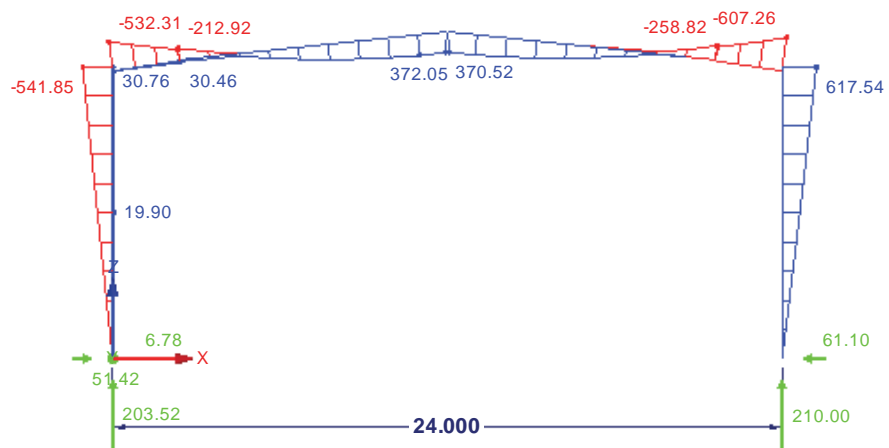
5.43 m



INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

RC 1: Saugos ribinis buvis
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]
Result Combinations: Max and Min Values

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
 Max P-Z': 0.00, Min P-Z': -210.00 kN
 Max P-X': 61.10, Min P-X': -51.42 kN
 Max M-y: 617.54, Min M-y: -607.26 kNm

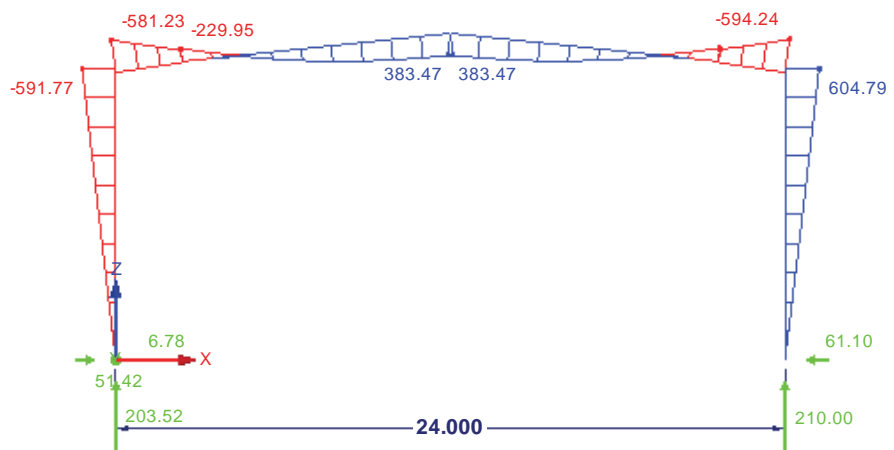
5.43 m



INTERNAL FORCES M_y , SUPPORT REACTIONS

RC 2: Tinkamumo ribinis buvis
Internal Forces M-y
Support Reactions[kN], [kNm]
Result Combinations: Max and Min Values

In Y-direction



Max M-Y': 0.00, Min M-Y': 0.00 kNm
Max P-Z': 0.00, Min P-Z': -210.00 kN
Max P-X': 61.10, Min P-X': -51.42 kN
Max M-y: 604.79, Min M-y: -594.24 kNm

5.43 m



LOADS

Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistrui

LC1
DL

3.2 MEMBER LOADS

LC1: DL

No.	Reference to	On Members No.	Load Type	Load Distribution	Load Direction	Reference Length	Load Parameters		
							Symbol	Value	Unit
1	Members	3,5	Force	Uniform	ZL	True Length	p	-1.800	kN/m
2	Members	4,6	Force	Uniform	ZL	True Length	p	-1.800	kN/m
3	Members	2	Force	Uniform	ZL	True Length	p	-1.620	kN/m
4	Members	1	Force	Uniform	ZL	True Length	p	-1.620	kN/m

LC2
SL

3.2 MEMBER LOADS

LC2: SL

No.	Reference to	On Members No.	Load Type	Load Distribution	Load Direction	Reference Length	Load Parameters		
							Symbol	Value	Unit
3	Members	3-6	Force	Uniform	ZL	True Length	p	-7.200	kN/m

LC3
WL

3.2 MEMBER LOADS

LC3: WL

No.	Reference to	On Members No.	Load Type	Load Distribution	Load Direction	Symbol	Load Parameters			Over Tot. Length
							Value	Unit		
1	Members	3-6	Force	Uniform	ZL	True Length	p	0.864	kN/m	
2	Members	2	Force	Uniform	XL	True Length	p	0.864	kN/m	
3	Members	1	Force	Trapezoidal	XL	True Length	p ₁	0.864	kN/m	
							p ₂	1.147	kN/m	



Project: Remas 24
Remas 24 Magistru

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

■ 4.0 RESULTS - SUMMARY

Description	Value	Unit	Comment
LC1 - DL			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support reactions in X	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-123.26	kN	
Sum of support reactions in Z	-123.26	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model (X:12.000, Y:0.000, Z:8.267 m)
Resultant of reactions about Y	-0.001	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	7.6	mm	Member No. 2, x: 6.288 m
Max. displacement in Z	-32.3	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	32.3	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	-3.7	mrad	Member No. 6, x: 2.148 m
Method of analysis	Linear		Geometrically linear analysis
Reduction of stiffness			Cross-sections, Members, Surfaces
Number of load increments	1		
Number of iterations	1		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.079E+06		
Stiffness matrix determinant	4.308E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
LC2 - SL			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support reactions in X	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-173.78	kN	
Sum of support reactions in Z	-173.78	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model (X:12.000, Y:0.000, Z:8.267 m)
Resultant of reactions about Y	0.000	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	20.2	mm	Member No. 2, x: 6.288 m
Max. displacement in Z	-85.4	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	85.4	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	-9.9	mrad	Member No. 6, x: 2.148 m
Method of analysis	Linear		Geometrically linear analysis
Reduction of stiffness			Cross-sections, Members, Surfaces
Number of load increments	1		
Number of iterations	1		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.079E+06		
Stiffness matrix determinant	4.308E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
LC3 - WL			
Sum of loads in X	19.59	kN	
Sum of support reactions in X	19.59	kN	Deviation 0.00%
Sum of loads in Z	20.85	kN	
Sum of support reactions in Z	20.85	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model (X:12.000, Y:0.000, Z:8.267 m)
Resultant of reactions about Y	-56.716	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	34.7	mm	Member No. 3, x: 2.102 m
Max. displacement in Z	12.3	mm	Member No. 6, x: 6.444 m
Max. vector displacement	35.9	mm	Member No. 6, x: 6.444 m
Max. rotation about Y	4.7	mrad	Member No. 1, x: 0.000 m
Method of analysis	Linear		Geometrically linear analysis
Reduction of stiffness			Cross-sections, Members, Surfaces
Number of load increments	1		
Number of iterations	1		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.079E+06		
Stiffness matrix determinant	4.308E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
CO1 - I Derinys			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support reactions in X	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-392.31	kN	
Sum of support reactions in Z	-392.31	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.0	kNm	At center of gravity of model (X:12.0, Y:0.0, Z:8.3 m)
Resultant of reactions about Y	0.0	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.0	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	37.3	mm	Member No. 2, x: 6.288 m
Max. displacement in Z	-156.9	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	156.9	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	-18.1	mrad	Member No. 6, x: 2.148 m
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear, Timoshenko)
Internal forces referred to deformed system for...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Reduction of stiffness			Materials, Cross-sections, Members, Surfaces
Consider favorable effects of tensile forces	<input checked="" type="checkbox"/>		
Divide results by CO factor	<input type="checkbox"/>		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.065E+06		
Stiffness matrix determinant	3.673E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
CO2 - II Derinys			
Sum of loads in X	15.28	kN	
Sum of support reactions in X	15.28	kN	Deviation 0.00%



Project: Remas 24
Remas 24 Magistru

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

■ 4.0 RESULTS - SUMMARY

Description	Value	Unit	Comment
Sum of loads in Z	-376.05	kN	
Sum of support reactions in Z	-376.05	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.0	kNm	At center of gravity of model (X:12.0, Y:0.0, Z:8.3 m)
Resultant of reactions about Y	-34.2	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.0	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	58.4	mm	Member No. 2, x: 7.336 m
Max. displacement in Z	-148.5	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	151.4	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	17.3	mrad	Member No. 5, x: 2.148 m
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear, Timoshenko)
Internal forces referred to deformed system for...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Reduction of stiffness			Materials, Cross-sections, Members, Surfaces
Consider favorable effects of tensile forces	<input checked="" type="checkbox"/>		
Divide results by CO factor	<input type="checkbox"/>		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.066E+06		
Stiffness matrix determinant	3.702E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
CO3 - III Derinys			
Sum of loads in X	12.74	kN	
Sum of support reactions in X	12.74	kN	Deviation 0.00%
Sum of loads in Z	-413.52	kN	
Sum of support reactions in Z	-413.52	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.0	kNm	At center of gravity of model (X:12.0, Y:0.0, Z:8.3 m)
Resultant of reactions about Y	-27.5	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.0	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	59.3	mm	Member No. 2, x: 7.336 m
Max. displacement in Z	-167.5	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	169.3	mm	Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	19.5	mrad	Member No. 5, x: 2.148 m
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear, Timoshenko)
Internal forces referred to deformed system for...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Reduction of stiffness			Materials, Cross-sections, Members, Surfaces
Consider favorable effects of tensile forces	<input checked="" type="checkbox"/>		
Divide results by CO factor	<input type="checkbox"/>		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.064E+06		
Stiffness matrix determinant	3.636E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
CO4 - IV Derinys			
Sum of loads in X	25.47	kN	
Sum of support reactions in X	25.47	kN	Deviation 0.00%
Sum of loads in Z	-96.15	kN	
Sum of support reactions in Z	-96.15	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.0	kNm	At center of gravity of model (X:12.0, Y:0.0, Z:8.3 m)
Resultant of reactions about Y	-70.7	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.0	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	46.6	mm	Member No. 2, x: 10.480 m
Max. displacement in Z	-20.6	mm	Member No. 5, x: 6.444 m
Max. vector displacement	49.3	mm	Member No. 5, x: 6.444 m
Max. rotation about Y	6.5	mrad	Member No. 2, x: 0.000 m
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear, Timoshenko)
Internal forces referred to deformed system for...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Reduction of stiffness			Materials, Cross-sections, Members, Surfaces
Consider favorable effects of tensile forces	<input checked="" type="checkbox"/>		
Divide results by CO factor	<input type="checkbox"/>		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.714E+09		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.077E+06		
Stiffness matrix determinant	4.188E+245		
Infinity Norm	2.154E+10		
Summary			
Max. displacement in X	59.3	mm	CO3, Member No. 2, x: 7.336 m
Max. displacement in Z	-167.5	mm	CO3, Member No. 6, x: 9.666 m
Max. vector displacement	169.3	mm	CO3, Member No. 6, x: 9.666 m
Max. rotation about Y	19.5	mrad	CO3, Member No. 5, x: 2.148 m
Other Settings	Number of 1D finite elements	:	10
	Number of 2D finite elements	:	0
	Number of 3D finite elements	:	0
	Number of FE mesh nodes	:	11
	Number of equations	:	33
	Max. number of iterations	:	100
	Number of divisions for member results	:	10
	Division of cable/foundation/tapered members	:	10
	Number of member divisions for searching maximum values	:	10
	Subdivisions of FE mesh for graphical results	:	3
	Percentage of iterations according to Picard method in combination with Newton-Raphson method	:	5 %
Options	<input checked="" type="checkbox"/> Activate shear stiffness of members (Ay, Az)		
	<input checked="" type="checkbox"/> Activate member divisions for large deformation or post-critical analysis		
	<input checked="" type="checkbox"/> Activate entered stiffness modifications		
	<input checked="" type="checkbox"/> Check of critical forces of members		



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

4.0 RESULTS - SUMMARY

<input type="checkbox"/> Nonsymmetric direct solver if demanded by nonlinear model Method for the system of equations		<input checked="" type="radio"/> Direct <input type="radio"/> Iteration <input checked="" type="radio"/> Mindlin <input type="radio"/> Kirchhoff <input type="radio"/> 32-bit <input checked="" type="radio"/> 64-bit
Plate bending theory		
Solver version		
Precision and Tolerance		<input type="checkbox"/> Change default setting

4.1 NODES - SUPPORT FORCES

Node No.	LC/CO	Support Forces [kN]		Support Moments M _y [kNm]	
		P _x	P _z		
1	LC1	-10.73	-61.63	0.00	DL
	LC2	-28.32	-86.89	0.00	SL
	LC3	13.45	14.81	0.00	WL
	CO1	-51.42	-196.16	0.00	I Derinys
	CO2	-40.91	-184.19	0.00	II Derinys
	CO3	-48.36	-203.52	0.00	III Derinys
	CO4	6.78	-42.24	0.00	IV Derinys
	2	LC1	10.73	-61.63	0.00
LC2		28.32	-86.89	0.00	SL
LC3		6.14	6.04	0.00	WL
CO1		51.42	-196.16	0.00	I Derinys
CO2		56.19	-191.86	0.00	II Derinys
CO3		61.10	-210.00	0.00	III Derinys
CO4		18.69	-53.90	0.00	IV Derinys

4.12 CROSS-SECTIONS - INTERNAL FORCES

Member No.	LC/CO	Node No.	Location x [m]	Forces [kN]		Moments M _y [kNm]
				N	V _z	
Section No. 1: IPE 550 Euronorm 19-57						
1	LC1	1	0.000	-61.63	-10.73	0.00
		3	10.480	-33.63	-10.73	-112.48
		1	0.000	-86.89	-28.32	0.00
	LC2	3	10.480	-86.89	-28.32	-296.75
		1	0.000	14.81	13.45	0.00
		3	10.480	14.81	13.45	0.00
	CO1	1	0.000	14.81	2.91	88.33
		3	10.480	14.81	-53.05	0.00
		1	0.000	-195.72	-53.05	-0.00
	CO2	3	10.480	-158.97	-49.51	-541.85
		1	0.000	-184.01	-41.69	0.00
		3	10.480	-184.01	-41.69	-0.00
	CO3	1	0.000	-147.00	-47.25	-467.53
		3	10.480	-203.23	-49.54	0.00
		1	0.000	-203.23	-49.54	-0.00
	CO4	3	10.480	-166.48	-52.87	-539.71
1		0.000	-42.21	6.97	0.00	
3		10.480	-42.21	6.97	0.00	
2	LC1	2	0.000	-14.27	-6.87	3.82
		4	10.480	-61.63	10.73	0.00
		2	0.000	-33.63	10.73	112.48
	LC2	2	0.000	-86.89	28.32	0.00
		4	10.480	-86.89	28.32	296.75
		2	0.000	6.04	6.14	0.00
	CO1	4	10.480	6.04	-2.91	16.93
		2	0.000	-195.72	53.05	0.00
		4	10.480	-158.97	49.51	541.85
	CO2	2	0.000	-191.21	58.39	0.00
		4	10.480	-154.55	47.58	559.67
		2	0.000	-209.26	63.59	0.00
	CO3	4	10.480	-172.83	53.19	617.54
		2	0.000	-53.78	19.04	0.00
		4	10.480	-25.90	6.94	136.09
	Section No. 2: IPE 500 Euronorm 19-57					
5	LC1	5	0.000	-13.41	24.94	-43.80
		7	9.666	-10.67	-1.12	71.30
		5	0.000	-35.43	66.26	-116.93
	LC2	7	9.666	-28.16	-2.96	188.98
		5	0.000	4.23	-12.36	56.16
		7	9.666	3.35	-4.06	-23.20
	CO1	5	0.000	-62.36	120.80	-212.92
		7	9.666	-51.14	-5.37	347.07
		5	0.000	-59.15	110.70	-164.75
	CO2	7	9.666	-48.45	-8.99	328.49
		5	0.000	-66.36	125.82	-196.14
		7	9.666	-54.56	-9.03	370.52
CO4	5	0.000	-7.85	8.77	30.46	
	7	9.666	-6.27	-6.53	41.25	
	6	LC1	6	0.000	-13.41	24.94
7			9.666	-10.67	-1.12	71.30
6			0.000	-35.43	66.26	-116.93
LC2		7	9.666	-28.16	-2.96	188.98
		6	0.000	3.31	-3.64	-28.16
		7	9.666	2.44	4.67	-23.20
CO1	6	0.000	-62.36	120.80	-212.92	
	7	9.666	-51.14	-5.37	347.07	
	6	0.000	-60.05	118.23	-238.92	



Project: Remas 24
Remas 24 Magistru

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

4.12 CROSS-SECTIONS - INTERNAL FORCES

Member No.	LC/CO	Node No.	Location x [m]	Forces [kN]		Moments M _y [kNm]	
				N	V _z		
6	CO2	7	9.666	-49.26	-1.28	328.49	
	CO3	6	0.000	-67.12	132.18	-258.82	
		7	9.666	-55.25	-2.51	370.52	
	CO4	6	0.000	-9.09	20.34	-81.70	
		7	9.666	-7.49	5.08	41.25	
Section No.3 - 4 : ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57							
3	LC1	3	0.000	-15.56	31.68	-110.48	
		5	2.402	-14.47	24.34	-43.28	
	LC2	3	0.000	-40.78	81.79	-291.49	
		5	2.402	-38.24	64.68	-115.58	
	LC3	3	0.000	5.06	-14.22	87.71	
		5	2.402	4.75	-12.17	56.00	
	CO1	3	0.000	-72.34	149.96	-532.31	
		5	2.402	-67.47	118.02	-210.47	
	CO2	3	0.000	-68.35	138.46	-458.48	
		5	2.402	-63.84	108.06	-162.42	
	CO3	3	0.000	-76.77	156.89	-529.52	
		5	2.402	-71.69	122.86	-193.52	
	CO4	3	0.000	-8.90	13.10	5.00	
		5	2.402	-8.22	8.42	30.76	
	4	LC1	4	0.000	-15.56	31.68	-110.48
			6	2.402	-14.47	24.34	-43.28
LC2		4	0.000	-40.78	81.79	-291.49	
		6	2.402	-38.24	64.68	-115.58	
LC3		4	0.000	3.77	-5.55	-17.43	
		6	2.402	3.46	-3.49	-28.29	
CO1		4	0.000	-72.34	149.96	-532.31	
		6	2.402	-67.47	118.02	-210.47	
CO2		4	0.000	-69.78	145.87	-550.51	
		6	2.402	-65.05	115.55	-236.56	
CO3		4	0.000	-78.02	163.14	-607.26	
		6	2.402	-72.72	129.18	-256.18	
CO4		4	0.000	-10.67	24.59	-134.73	
		6	2.402	-9.95	19.93	-81.35	

4.1 NODES - SUPPORT FORCES

Result Combinations

Node No.	RC		Support Forces [kN]		Support Moments M _y [kNm]	
			P _x	P _z		
1	RC1	Max	6.78	0.00	0.00	Saugos ribinis buvis
		Min	-51.42	-203.52	0.00	Saugos ribinis buvis
	RC2	Max	6.78	0.00	0.00	Tinkamumo ribinis buvis
		Min	-51.42	-203.52	0.00	Tinkamumo ribinis buvis
2	RC1	Max	61.10	0.00	0.00	Saugos ribinis buvis
		Min	0.00	-210.00	0.00	Saugos ribinis buvis
	RC2	Max	61.10	0.00	0.00	Tinkamumo ribinis buvis
		Min	0.00	-210.00	0.00	Tinkamumo ribinis buvis

4.12 CROSS-SECTIONS - INTERNAL FORCES

Result Combinations

Member No.	RC	Node No.	Location x [m]	Forces [kN]		Moments M _y [kNm]	Corresponding Load Cases	
				N	V _z			
Section No. 1: IPE 550 Euronorm 19-57								
1	RC1	1	0.000 Left	Max N	0.00	0.00		
				Min N	-203.23	-49.54	0.00	CO 3
				Max V _z	-42.21	6.97	0.00	CO 4
			Min V _z	-195.72	-53.05	0.00	CO 1	
			Max M _y	0.00	0.00	0.00		
			Min M _y	0.00	0.00	0.00		
		3	10.480	Max N	0.00	0.00	0.00	
				Min N	-166.48	-52.87	-539.71	CO 3
				Max V _z	0.00	0.00	0.00	
			Min V _z	-166.48	-52.87	-539.71	CO 3	
			Max M _y	-14.27	-6.87	3.82	CO 4	
			Min M _y	-158.97	-49.51	-541.85	CO 1	
	RC2	1	0.000 Left	Max N	0.00	0.00	0.00	
				Min N	-211.37	-57.49	0.00	CO 3
				Max V _z	0.00	0.00	0.00	
			Min V _z	-211.37	-57.49	0.00	CO 3	
			Max M _y	0.00	0.00	0.00		
			Min M _y	0.00	0.00	0.00		
		3	10.480	Max N	0.00	0.00	0.00	
				Min N	-174.82	-54.44	-591.77	CO 3
				Max V _z	0.00	0.00	0.00	



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

■ 4.12 CROSS-SECTIONS - INTERNAL FORCES

Result Combinations

Member No.	RC	Node No.	Location x [m]	Forces [kN]			Moments M _y [kNm]	Corresponding Load Cases				
				N	V _z							
1	RC2			Min V _z	▷ -174.82	-54.44	-591.77	CO 3				
				Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min M _y	▷ -174.82	-54.44	-591.77	CO 3				
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -209.26	63.59	0.00	CO 3				
				Max V _z	▷ -209.26	63.59	0.00	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -172.83	53.19	617.54	CO 3				
				Max V _z	▷ -172.83	53.19	617.54	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ -172.83	53.19	617.54	CO 3				
				Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -212.38	59.84	0.00	CO 3				
				Max V _z	▷ -212.38	59.84	0.00	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max N	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min N	▷ -175.88	54.49	604.79	CO 3								
Max V _z	▷ -175.88	54.49	604.79	CO 3								
Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max M _y	▷ -175.88	54.49	604.79	CO 3								
Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Section No. 2: IPE 500 Euronorm 19-57												
5	RC1	5	0.000	Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -66.36	125.82	-196.14	CO 3				
				Max V _z	▷ -66.36	125.82	-196.14	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ -7.85	8.77	30.46	CO 4				
				Min M _y	▷ -62.36	120.80	-212.92	CO 1				
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -54.56	-9.03	370.52	CO 3				
				Max V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min V _z	▷ -54.56	-9.03	370.52	CO 3				
				Max M _y	▷ -54.56	-9.03	370.52	CO 3				
				Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -68.58	132.87	-229.95	CO 3				
				Max V _z	▷ -68.58	132.87	-229.95	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min M _y	▷ -68.58	132.87	-229.95	CO 3				
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -56.43	-6.48	383.47	CO 3				
Max V _z	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min V _z	▷ -56.43	-6.48	383.47	CO 3								
Max M _y	▷ -56.43	-6.48	383.47	CO 3								
Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max N	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min N	▷ -67.12	132.18	-258.82	CO 3								
Max V _z	▷ -67.12	132.18	-258.82	CO 3								
Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min M _y	▷ -67.12	132.18	-258.82	CO 3								
Max N	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min N	▷ -55.25	-2.51	370.52	CO 3								
Max V _z	▷ -7.49	5.08	41.25	CO 4								
Min V _z	▷ -51.14	-5.37	347.07	CO 1								
Max M _y	▷ -55.25	-2.51	370.52	CO 3								
Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max N	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min N	▷ -68.70	133.94	-240.44	CO 3								
Max V _z	▷ -68.70	133.94	-240.44	CO 3								
Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00									
Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min M _y	▷ -68.70	133.94	-240.44	CO 3								
Max N	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min N	▷ -56.55	-5.39	383.47	CO 3								
Max V _z	▷ 0.00	0.00	0.00									
Min V _z	▷ -56.55	-5.39	383.47	CO 3								
Max M _y	▷ -56.55	-5.39	383.47	CO 3								
Min M _y	▷ 0.00	0.00	0.00									
Section No.3 - 4 : ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57												
3	RC1	3	0.000	Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -76.77	156.89	-529.52	CO 3				
				Max V _z	▷ -76.77	156.89	-529.52	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Max M _y	▷ -8.90	13.10	5.00	CO 4				
				Min M _y	▷ -72.34	149.96	-532.31	CO 1				
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00					
				Min N	▷ -71.69	122.86	-193.52	CO 3				
				Max V _z	▷ -71.69	122.86	-193.52	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					
						5	2.402	Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
								Min N	▷ -71.69	122.86	-193.52	CO 3
				Max V _z	▷ -71.69	122.86	-193.52	CO 3				
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00					



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

■ 4.12 CROSS-SECTIONS - INTERNAL FORCES

Result Combinations

Member No.	RC	Node No.	Location x [m]	Forces [kN]			Moments M _y [kNm]	Corresponding Load Cases
				N	V _z			
3	RC1			Max M _y	▷ -8.22	8.42	30.76	CO 4
				Min M _y	▷ -67.47	118.02	-210.47	CO 1
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
	RC2	3	0.000	Min N	▷ -79.55	164.91	-581.23	CO 3
				Max V _z	▷ -79.55	164.91	-581.23	CO 3
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00	
		5	2.402	Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Min M _y	▷ -79.55	164.91	-581.23	CO 3
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Min N	▷ -74.20	129.82	-227.24	CO 3
				Max V _z	▷ -74.20	129.82	-227.24	CO 3
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00	
4	RC1	4	0.000	Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Min M _y	▷ -74.20	129.82	-227.24	CO 3
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
		6	2.402	Min N	▷ -78.02	163.14	-607.26	CO 3
				Max V _z	▷ -78.02	163.14	-607.26	CO 3
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00	
	RC2	4	0.000	Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Min M _y	▷ -72.72	129.18	-256.18	CO 3
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
		6	2.402	Min N	▷ -72.72	129.18	-256.18	CO 3
				Max V _z	▷ -72.72	129.18	-256.18	CO 3
				Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00	
				Min M _y	▷ -79.76	165.96	-594.24	CO 3
				Max N	▷ 0.00	0.00	0.00	
			Min N	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3	
			Max V _z	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3	
			Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00		
			Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00		
			Min M _y	▷ -79.76	165.96	-594.24	CO 3	
			Max N	▷ 0.00	0.00	0.00		
		Min N	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3		
		Max V _z	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3		
		Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00			
			Max M _y	▷ 0.00	0.00	0.00		
			Min M _y	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3	
			Max N	▷ 0.00	0.00	0.00		
		Min N	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3		
		Max V _z	▷ -74.38	130.87	-237.73	CO 3		
		Min V _z	▷ 0.00	0.00	0.00			



RF-STEEL EC3

CA1

Design of steel members
according to Eurocode 3

Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

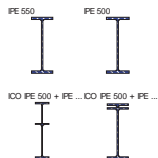
1.1 GENERAL DATA

Members to design:	All	
Sets of members to design:		
National Annex:	CEN	
Ultimate Limit State Design		
Load cases to design:	LC1	DL
	LC2	SL
	LC3	WL
Load combinations to design:	CO1	I Derinys
	CO2	II Derinys
	CO3	III Derinys
	CO4	IV Derinys
Result combinations to design:	RC1	Saugos ribinis buvis
	RC2	Tinkamumo ribinis buvis
Serviceability Limit State Design		
Load cases to design:	LC1	DL
	LC2	SL
	LC3	WL
Load combinations to design:	CO1	I Derinys
	CO2	II Derinys
	CO3	III Derinys
	CO4	IV Derinys
Result combinations to design:	RC1	Saugos ribinis buvis
	RC2	Tinkamumo ribinis buvis

1.2 MATERIALS

Matl. No.	Material Description	E- Modulus E [kN/cm ²]	Shear Modulus G [kN/cm ²]	Poisson's Ratio ν [-]	Yield Stress f_{yk} [kN/cm ²]	Max. Thickness t [mm]
3	Steel S 355 J2 EN 10025-2:2004-11	21000.00	8076.92	0.300	35.50	3.0
					35.50	16.0
					34.50	40.0
					33.50	63.0
					32.50	80.0
					31.50	100.0
					29.50	150.0
					28.50	200.0

1.3 CROSS-SECTIONS



Sect. No.	Matl. No.	Cross-Section Description	Cross-Section Type	Max Design Ratio	Comment
1	3	IPE 550 Euronorm 19-57	I-section rolled	0.94	
2	3	IPE 500 Euronorm 19-57	I-section rolled	0.60	
3	3	ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	General	0.61	
4	3	Type General - Only Class 3 possible ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	General	0.61	
		Type General - Only Class 3 possible			

1.4 INTERMEDIATE LATERAL RESTRAINTS

Member No.	Restrain Type	Length L [m]	Number	Intermediate Lateral Restraints [-]									
				x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	
1	Lateral and torsional	10.480	1	0.500									
2	Lateral and torsional	10.480	1	0.500									
5	Lateral and torsional	9.666	2	0.333	0.667								
6	Lateral and torsional	9.666	2	0.333	0.667								

1.5 EFFECTIVE LENGTHS - MEMBERS

Member No.	Buckling Possible	Buckling About Axis y			Buckling About Axis z			Lateral-Torsional Buckling				
		Possible	$k_{cr,y}$	$L_{cr,y}$ [m]	Possible	$k_{cr,z}$	$L_{cr,z}$ [m]	Possible	k_z	k_w	L_w [m]	L_T [m]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	7.409	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	3.705	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	5.240	5.240
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	7.409	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	3.705	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	5.240	5.240
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	1.698	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	1.698	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	2.402	2.402
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	1.698	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	1.698	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	2.402	2.402
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	6.834	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	2.278	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.222	3.222
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	6.834	<input checked="" type="checkbox"/>	0.71	2.278	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	1.0	3.222	3.222



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

1.9 SERVICEABILITY DATA

No.	Reference to	Members/Sets No.	Reference Length		Direct.	Precamber e ₀ [mm]	Beam Type
			Manually	l [m]			
1	Member	1	<input type="checkbox"/>	10.480	y, z	0.0	Beam
2	Member	2	<input type="checkbox"/>	10.480	y, z	0.0	Beam
3	Member	3	<input type="checkbox"/>	2.402	y, z	0.0	Beam
4	Member	4	<input type="checkbox"/>	2.402	y, z	0.0	Beam

1.12 PARAMETERS - MEMBERS

Member No.	Description	Parameter
1	Cross-Section	1 - IPE 550 Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
	Rotational restraint	<input type="checkbox"/>
	Cross-sectional area for tension design	<input type="checkbox"/>
2	Cross-Section	1 - IPE 550 Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
	Rotational restraint	<input type="checkbox"/>
	Cross-sectional area for tension design	<input type="checkbox"/>
3	Cross-Section	
	Start	3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57
	End	4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
4	Cross-Section	
	Start	3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57
	End	4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
5	Cross-Section	2 - IPE 500 Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
	Rotational restraint	<input type="checkbox"/>
	Cross-sectional area for tension design	<input type="checkbox"/>
6	Cross-Section	2 - IPE 500 Euronorm 19-57
	Shear panel	<input type="checkbox"/>
	Rotational restraint	<input type="checkbox"/>
	Cross-sectional area for tension design	<input type="checkbox"/>

2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Design No.	Description
1	Cross-section No. 1 - IPE 550 Euronorm 19-57				
	0.000	LC3	0.00	≤ 1	CS101) Cross-section check - Tension acc. to 6.2.3
	1.048	CO3	0.04	≤ 1	CS102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	CS103) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4 - Class 4
	10.480	CO3	0.04	≤ 1	CS121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	0.000	CO1	0.05	≤ 1	CS122) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	CS126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	10.480	CO1	0.56	≤ 1	CS181) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	3.144	CO2	0.20	≤ 1	CS182) Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	ST303) Stability analysis - Flexural buckling about y-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	LC2	0.03	≤ 1	ST313) Stability analysis - Flexural buckling about z-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	CO3	0.08	≤ 1	ST314) Stability analysis - Flexural buckling about z-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2 - Class 4
	0.000	CO2	0.07	≤ 1	ST323) Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	CO3	0.08	≤ 1	ST324) Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.2 - Class 4
	10.480	LC1	0.16	≤ 1	ST331) Stability analysis - Lateral torsional buckling acc. to 6.3.2.1 and 6.3.2.3 - I-Section
	5.240	CO1	0.83	≤ 1	ST364) Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	SE400) Serviceability - Negligible deformations
6.288	CO1	0.78	≤ 1	SE401) Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction	
2	Cross-section No. 1 - IPE 550 Euronorm 19-57				
	1.048	CO3	0.04	≤ 1	CS102) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	CS103) Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4 - Class 4
	7.336	LC3	0.02	≤ 1	CS111) Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 1 or 2
	3.144	CO3	0.04	≤ 1	CS121) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	0.000	CO3	0.06	≤ 1	CS122) Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	CS126) Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
7.336	LC3	0.02	≤ 1	CS141) Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.5 and 6	



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design		Design No.	Description
	10.480	CO3	0.64	≤ 1	CS181)	6.2.8 Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	2.096	CO3	0.20	≤ 1	CS182)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	ST303)	Stability analysis - Flexural buckling about y-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	LC2	0.03	≤ 1	ST313)	Stability analysis - Flexural buckling about z-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	CO3	0.08	≤ 1	ST314)	Stability analysis - Flexural buckling about z-axis acc. to 6.3.1.1 and 6.3.1.2 - Class 4
	0.000	LC2	0.03	≤ 1	ST323)	Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.2(4) - Class 4
	0.000	CO3	0.08	≤ 1	ST324)	Stability analysis - Torsional buckling acc. to 6.3.1.4 and 6.3.1.2 - Class 4
	10.480	CO4	0.21	≤ 1	ST331)	Stability analysis - Lateral torsional buckling acc. to 6.3.2.1 and 6.3.2.3 - I-Section
	5.240	CO3	0.94	≤ 1	ST364)	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	SE400)	Serviceability - Negligible deformations
	6.288	CO3	0.91	≤ 1	SE401)	Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction
3	Cross-section No. 3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 ... 4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57					
	2.402	CO3	0.01	≤ 1	CS102)	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	1.601	LC3	0.07	≤ 1	CS112)	Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 3
	2.402	CO3	0.13	≤ 1	CS122)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	1.601	LC3	0.07	≤ 1	CS143)	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.9.2 and 6.2.10 - Class 3 - General cross-section
	0.000	CO1	0.42	≤ 1	CS183)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3 - General cross-section
	0.000	CO1	0.53	≤ 1	ST371)	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.4, General Method
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	SE400)	Serviceability - Negligible deformations
	0.801	CO1	0.14	≤ 1	SE401)	Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction
4	Cross-section No. 3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 ... 4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57					
	2.402	CO3	0.01	≤ 1	CS102)	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.801	CO4	0.11	≤ 1	CS112)	Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 3
	2.402	CO3	0.14	≤ 1	CS122)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	0.801	CO4	0.11	≤ 1	CS143)	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.9.2 and 6.2.10 - Class 3 - General cross-section
	0.000	CO3	0.48	≤ 1	CS183)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3 - General cross-section
	0.000	CO3	0.61	≤ 1	ST371)	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.4, General Method
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	SE400)	Serviceability - Negligible deformations
	0.801	CO3	0.16	≤ 1	SE401)	Serviceability - Combination of actions 'Characteristic' - z-direction
5	Cross-section No. 2 - IPE 500 Euronorm 19-57					
	0.000	CO3	0.02	≤ 1	CS102)	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	0.000	LC3	0.07	≤ 1	CS111)	Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 1 or 2
	0.000	CO3	0.10	≤ 1	CS121)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	2.148	CO3	0.10	≤ 1	CS122)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	CS126)	Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	0.000	LC3	0.07	≤ 1	CS141)	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.5 and 6.2.8
	8.592	CO3	0.48	≤ 1	CS181)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	2.148	CO3	0.08	≤ 1	CS182)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3
	9.666	LC2	0.29	≤ 1	ST331)	Stability analysis - Lateral torsional buckling acc. to 6.3.2.1 and 6.3.2.3 - I-Section
	6.444	CO3	0.60	≤ 1	ST364)	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2
6	Cross-section No. 2 - IPE 500 Euronorm 19-57					
	0.000	CO3	0.02	≤ 1	CS102)	Cross-section check - Compression acc. to 6.2.4
	9.666	CO4	0.05	≤ 1	CS111)	Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 1 or 2
	5.370	CO4	0.01	≤ 1	CS112)	Cross-section check - Bending about y-axis acc. to 6.2.5 - Class 3
	0.000	CO3	0.11	≤ 1	CS121)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6
	2.148	CO3	0.11	≤ 1	CS122)	Cross-section check - Shear force in z-axis acc. to 6.2.6(4) - Class 3 or 4
	0.000	LC1	0.00	≤ 1	CS126)	Cross-section check - Shear buckling acc. to 6.2.6(6)
	9.666	CO4	0.05	≤ 1	CS141)	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.5 and 6.2.8
	5.370	CO4	0.01	≤ 1	CS142)	Cross-section check - Bending and shear force acc. to 6.2.9.2 and 6.2.10 - Class 3
	9.666	CO3	0.47	≤ 1	CS181)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.1
	2.148	CO1	0.04	≤ 1	CS182)	Cross-section check - Bending, shear and axial force acc. to 6.2.9.2 - Class 3
	9.666	LC2	0.29	≤ 1	ST331)	Stability analysis - Lateral torsional buckling acc. to 6.3.2.1 and 6.3.2.3 - I-Section
	6.444	CO3	0.59	≤ 1	ST364)	Stability analysis - Bending and compression acc. to 6.3.3, Method 2



RF-STEEL Plastic
CA1

Design of steel members according to the Partial Internal Forces Method (PIF-method)

Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

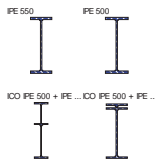
1.1 GENERAL DATA

Members to design:	All	
Sets of members to design:		
Standard:	None	
Ultimate Limit State Design		
Load cases to design:	LC1	DL
	LC2	SL
	LC3	WL
Load combinations to design:	CO1	I Derinys
	CO2	II Derinys
	CO3	III Derinys
	CO4	IV Derinys
Result combinations to design:	RC1	Saugos ribinis buvis
	RC2	Tinkamumo ribinis buvis

1.2 MATERIALS

Matl. No.	Material Description	E- Modulus E [kN/cm ²]	Shear Modulus G [kN/cm ²]	Poisson's Ratio ν [-]	Yield Stress f_{yk} [kN/cm ²]	Max. Thickness t [mm]
3	Steel S 355 J2 EN 10025-2:2004-11	21000.00	8076.92	0.300	35.50	3.0
					35.50	16.0
					34.50	40.0
					33.50	63.0
					32.50	80.0
					31.50	100.0
					29.50	150.0
					28.50	200.0

1.3 CROSS-SECTIONS



Sect. No.	Matl. No.	Cross-Section Description	Cross-Section Type	Max Design Ratio	Comment
1	3	IPE 550 Euronorm 19-57	I-section	0.83	
2	3	IPE 500 Euronorm 19-57	I-section	0.74	
3	3	ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	General	0.43	
4	3	ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	General	0.43	

2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Design No.	Description
1	Cross-section No. 1 - IPE 550 Euronorm 19-57				
	9.432	CO3	0.00	≤ 1	PL101) PLCheck of shear flow in top flange
	0.000	CO1	0.04	≤ 1	PL102) PLCheck of shear flow in web
	9.432	CO3	0.00	≤ 1	PL103) PLCheck of shear flow in bottom flange
	10.480	CO1	0.00	≤ 1	PL104) PLCheck of the allowable bending moment in top flange
	10.480	CO1	0.00	≤ 1	PL105) PLCheck of the allowable bending moment in bottom flange
	0.000	CO3	0.04	≤ 1	PL106) PLCheck of the minimum and maximum allowable axial force acting on cross-section
	10.480	CO1	0.79	≤ 1	PL108) PLCheck of the minimum and maximum allowable bending moment about the major axis
2	Cross-section No. 1 - IPE 550 Euronorm 19-57				
	0.000	CO3	0.00	≤ 1	PL101) PLCheck of shear flow in top flange
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	PL102) PLCheck of shear flow in web
	0.000	CO3	0.00	≤ 1	PL103) PLCheck of shear flow in bottom flange
	10.480	CO3	0.00	≤ 1	PL104) PLCheck of the allowable bending moment in top flange
	10.480	CO3	0.00	≤ 1	PL105) PLCheck of the allowable bending moment in bottom flange
	0.000	CO3	0.05	≤ 1	PL106) PLCheck of the minimum and maximum allowable axial force acting on cross-section
	10.480	CO3	0.83	≤ 1	PL108) PLCheck of the minimum and maximum allowable bending moment about the major axis
3	Cross-section No. 3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 ... 4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57				
	0.000	CO1	0.38	≤ 1	PL117) PLCheck of plastic capacity
4	Cross-section No. 3 - ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57 ... 4 - ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57				
	0.000	CO3	0.43	≤ 1	PL117) PLCheck of plastic capacity
5	Cross-section No. 2 - IPE 500 Euronorm 19-57				
	0.000	CO1	0.00	≤ 1	PL101) PLCheck of shear flow in top flange
	0.000	CO3	0.12	≤ 1	PL102) PLCheck of shear flow in web
	0.000	CO1	0.00	≤ 1	PL103) PLCheck of shear flow in bottom flange
	9.666	CO3	0.00	≤ 1	PL104) PLCheck of the allowable bending moment in top flange
	9.666	CO3	0.00	≤ 1	PL105) PLCheck of the allowable bending moment in bottom flange
	0.000	CO3	0.02	≤ 1	PL106) PLCheck of the minimum and maximum allowable axial force acting on cross-section
	8.592	CO3	0.74	≤ 1	PL108) PLCheck of the minimum and maximum allowable bending moment about the major axis



Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistru

2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design		Design No.	Description
6	Cross-section No. 2 - IPE 500 Euronorm 19-57					
	0.000	CO3	0.00	≤ 1	PL101)	PLCheck of shear flow in top flange
	0.000	CO3	0.13	≤ 1	PL102)	PLCheck of shear flow in web
	0.000	CO3	0.00	≤ 1	PL103)	PLCheck of shear flow in bottom flange
	9.666	CO3	0.00	≤ 1	PL104)	PLCheck of the allowable bending moment in top flange
	9.666	CO3	0.00	≤ 1	PL105)	PLCheck of the allowable bending moment in bottom flange
	0.000	CO3	0.02	≤ 1	PL106)	PLCheck of the minimum and maximum allowable axial force acting on cross-section
	9.666	CO3	0.74	≤ 1	PL108)	PLCheck of the minimum and maximum allowable bending moment about the major axis



RF-EL-PL
CA1
Elastic-plastic design

Project: Remas 24

Model: Remas 24-woot-300-2017-12-12

Date: 1/3/2018

Remas 24 Magistrui

1.1.1 GENERAL DATA

Members to design:	All	
Ultimate Limit State Design		
Load cases to design:	LC1 LC2 LC3	DL SL WL
Load combinations to design:	CO1 CO2 CO3 CO4	I Derinys II Derinys III Derinys IV Derinys
Result combinations to design:	RC1 RC2	Saugos ribinis buvis Tinkamumo ribinis buvis

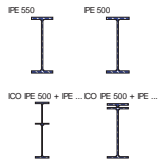
1.1.2 DETAILS

Interaction according to	Rubin
Moment capacity limitation:	
Moment capacity limitation according to DIN 18800 - Par. (755), DIN 4420 (Pipes)	<input type="checkbox"/>
$\alpha_{pl,max}$	1.25
Cross-section capacity for non-interaction:	
N / N_{pl}	0.10
$V_y / V_{pl,y}$	0.25
$V_z / V_{pl,z}$	0.25
$M_y / M_{pl,y}$	0.10
$M_z / M_{pl,z}$	0.10
Internal forces negligible if ratio of:	
Internal force / plastic capacity	0.02

1.2 MATERIALS

Matl. No.	Material Description	Yield Stress f-y,k [kN/cm ²]	Comment
3	Steel S 355 J2	35.50	

1.3.1 CROSS-SECTIONS



Sect. No.	Matl. No.	Cross-section Description	I_t [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm ⁴] $\alpha_{pl,z}$	Comment
1	3	IPE 550 Euronorm 19-57	124.00 134.00	67120.00 1.13	2670.00 1.57	
2	3	IPE 500 Euronorm 19-57	89.70 116.00	48200.00 1.14	2140.00 1.57	
3	3	ICO IPE 500 + IPE 500-300 Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	127.05 178.86	144653.00 1.22	3211.29 1.57	
4	3	Incorrect type of cross-section! Members with this cross-section will not be designed. ICO IPE 500 + IPE 500-HMIN Euronorm 19-57 + Euronorm 19-57	117.75 150.14	68577.00 1.31	3206.85 1.55	

2.1 DESIGN BY CROSS-SECTION

Sect. No.	Member No.	Location x [m]	Load Case	Design	Design Criterion	Comment on Design Method
1	2	10.480	RC1	0.65	≤ 1	21) Interaction acc. to Rubin, Eq. (4.24)
2	6	9.666	RC2	0.49	≤ 1	21) Interaction acc. to Rubin, Eq. (4.24)