

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Paulius Breimelis

**KOMUNIKACIJŲ RYŠIO IR APŠVIETIMO ATRAMŲ
STIPRUMO ANALIZĖ**

Magistro darbas

Vadovas

prof. habil. dr. J. Bareišis

ŠIAULIAI, 2008

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

Lekt. Z. Ramonas

2008 06

**KOMUNIKACIJŲ RYŠIO IR APŠVIETIMO ATRAMŲ
STIPRUMO ANALIZĖ**

Magistro darbas

Konsultantas

AB „ELGA“ vyriausias technologas

A. Gulbickas

2008 06

Recenzentas

doc. dr. R. Šniuolis

2008 06

Vadovas

prof. habil. dr J. Bareišis

2008 06

Atliko

MM6 gr. stud.

P. Breimelis

2008 05 15

ŠIAULIAI, 2008

Breimelis P. Strenth analysis of communication and lighting poles: Master thesis of mechanical engineer/research advisor Assoc. prof. habil. dr. J. Bareišis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2008. – 49 p.

SUMMARY

Project like this was made the inclined communication and lighting poles. The inclined communication and lighting poles was made in AB „ELGA“ and exploit in whole territory of Lithuania.

Project includes review of 15 ar 8 meters height poles construction, review of additional equipment construction, review of past strenth and technical calculations, wind pressure calculations in conformity of STR 2.05.04:2003 and LST EN 1991–1-4:2005, stress and displacement investigation of 15 ar 8 meters height lighting poles using finite elements method, displacement analysis of 8 meters height lighting poles height Project also includes findings and cosnstructive suggestions in conformity of this investigation.

TURINYS

IVADAS	7
1. KOMUNIKACIJŲ RYŠIO IR APŠVIETIMO ATRAMŲ KONSTRUKCIJA	8
1.1 15 metrų aukščio atramos konstrukcijos aprašymas.....	8
1.2 8 metrų aukščio atramos konstrukcijos aprašymas.....	11
1.3 Atramoms gaminti naudojamos medžiagos.....	13
1.4 Ant atramų montuojama įranga.....	15
2. VĖJO POVEIKIAI	16
2.1 Vėjo slėgis ir trinties jėgos.....	16
2.2 Vėjo greičių rajonai ir kiti duomenys.....	17
2.3 Vėjo apkrovos pulsacinė dedamoji.....	20
3. PANAŠIŲ ATRAMŲ ANALIZĖS APŽVALGA	22
3.1 Bendrieji nuostatai.....	22
3.2 Vienmačio modelio skaičiavimo trumpa rezultatų apžvalga.....	23
3.3 Kevalo baigtinių elementų modelio trumpa skaičiavimo rezultatų apžvalga.....	24
4. PRADINIAI DUOMENYS ATRAMŲ ANALIZEI BEM	26
4.1 Pagrindiniai skaičiavimo principai ir vertinimo kriterijai.....	26
4.2 Vėjo paviršinio slėgio statinės dedamosios nustatymas.....	27
4.3 Vėjo paviršinio slėgio pulsacinės dedamosios nustatymas.....	28
4.4 Vėjo paviršinio slėgio nustatymas.....	29
4.5 Papildomos įrangos svorio įvertinimas.....	30
5. ATRAMŲ TYRIMAS BAIGTINIŲ ELEMENTŲ METODU	31
5.1 Atramų analizė ir bendrieji nuostatai.....	32
5.2 15 m atramos analizės rezultatai.....	36
5.3 8 m atramos analizės rezultatai.....	40
5.4 8 m atramos su apvaliu skerspjūviu linijinio poslinkio analizė.....	42
6. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	42
6.1 Skaičiavimų išvados.....	45
6.2 Reikalavimai gamybai.....	46
6.3 Reikalavimai montavimo darbams.....	46
6.4 Rekomendacijos konstrukcijos tobulinimui.....	47
7. LITERATŪRA	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1	Atramos plieno pagrindiniai fiziniai ir mechaniniai rodikliai.....	14
2.1	Vėjo greičio pagrindinės atskaitinės reikšmės $v_{ref,0}$	18
2.2	Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref}	18
2.3	Koeficientai $c(z)$, įvertinantys vėjo slėgio pokytį pagal aukštį.....	18
2.4	Vėjo slėgio pulsacijos koeficientas.....	20
2.5	Savųjų svyravimų dažnių ribinės reikšmės f_{lim} , Hz.....	21
4.1	Vėjo paviršinio slėgio statinė dedamoji.....	28
4.2	Vėjo paviršinio slėgio pulsacinė dedamoji.....	29
4.3	Vėjo paviršinis slėgis.....	30
4.4	Papildomos įrangos svoris.....	30
5.1	15 m atramos skaičiavimo rezultatai (3 vėjo rajonui).....	39
5.2	8 m atramos skaičiavimo rezultatai (3 vėjo rajonui).....	41
5.3	8 m atramų poslinkių palyginimas.....	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. 15 m komunikacijų ryšio ir apšvietimo atrama.....	9
1.2 pav. 15 m aukščio ryšio ir apšvietimo atramos surinkimo vaizdas.....	10
1.3 pav. 8 m aukščio apšvietimo atramos surinkimo vaizdas.....	11
1.4 pav. 8 m aukščio gatvių apšvietimo atramos.....	12
1.5 pav. Plieniniai atramų ruošiniai po karšto cinkavimo.....	13
1.6 pav. Šviestuvai GEWISS COLOSSEUM RANGE.....	15
2.1 pav. Lietuvos vėjo rajonai.....	19
3.1 pav. Atramų erdviniai modeliai.....	22
3.2 pav. 24 m atramos skaičiavimo rezultatai.....	23
3.3 pav. Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingiausiose vietose.....	25
5.1 pav. 15 ir 8 metrų atramų atraminių mazgų trimačių modelių pjūviai.....	33
5.2 pav. BEM tinklas ant atramos programos Cosmosworks 2008 lange.....	34
5.3 pav. Įtvirtintos 8 metrų aukščio atramos fragmentas.....	34
5.4 pav. Įtvirtinta ir apkrauta 15 m aukščio atrama, vaizdas iš viršaus.....	35
5.5 pav. Linijinių poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė.....	37
5.6 pav. Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingose vietose.....	38
5.7 pav. Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingose vietos ir įtempimų skalė (MPa).....	40
5.8 pav. Poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė.....	41
5.9 pav. Išorinio vėjo slėgio pasiskirstymas skirtinguose skerspjūviuose.....	42
5.10 pav. Poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė.....	43

ĮVADAS

Tyrimo objektas – aštuoniabriaunio kintamo skerspjuvio plieninės komunikacijų ryšio ir apšvietimo atramos.

Darbo tikslas ir uždaviniai – nustatyti ar gaminamos atramos tinkamos statyti visuose trijuose Lietuvos vėjo rajonuose ir visų tipų vietovėse, pateikti išvadas ir rekomendacijas dėl 15 ir 8 m aukščio atramų konstrukcijos tobulinimo.

Temos naujumas – ankstesniuose panašiuose darbuose buvo analizuotos aukštesnės (18 ir 24 m) atramos panaudojant sudėtingus skaičiavimo metodus.

Temos aktualumas – esant dabartinėms gamybos sąlygoms projektuojant naujus gaminius nevisada atsižvelgiama į pagrindines projektavimo normas. Tokie veiksmai gali privesti prie nepageidaujamų atsitikimų ir nelaimių. Krisdamos komunikacijų ar apšvietimo atramos gali rimtai sužaloti žmones, gyvūnus, sugadinti materialinį turtą bei ant jų sumontuotą brangią įrangą.

Tyrimo metodai – taikant baigtinių elementų skaitmeninį metodą ištirti atramas aplinkos bei technologinėms apkrovoms ir poveikiams, būdingiems Lietuvos vietovių eksploatacinėms sąlygoms, įvertinant konstrukcijos ir įrangos savojo svorio apkrovas pagal Lietuvoje galiojančias projektavimo normas STR 2.05.04:2003 ir LST EN 1991-1-4:2005

1. KOMUNIKACIJŲ RYŠIO IR APŠVIETIMO ATRAMŲ KONSTRUKCIJA

1.1 15 metrų aukščio atramos konstrukcijos aprašymas

Komunikacijų ryšio atramos skirtos mobiliojo ryšio antenoms, prožektoriams ir žaibolaidžiams laikyti. Jos projektuojamos 12 - 24 m aukščio. Nagrinėjama konstrukcija yra 15 m aukščio. Atramos konstrukciją sudaro siaurėjantis į viršų plieninis plonasienis kevalas, taisyklingo lygiakraščio aštuonkampio skerspjūvio. Įbrėžtojo apskritimo mažiausias skersmuo 110 mm, didžiausias - parenkamas, atsižvelgiant į apkrovas, veikiančias statybos vietovėje ir techninius reikalavimus. Numatyta, kad atramos konstrukcija gali būti surenkama iš 2 arba 3 dalių. Skaičiuojamasis variantas susideda iš dviejų tarpusavyje sumautų ir/arba prikniedytų dalių. Dalys viena su kita jungiamos gamykloje, įdedant mažiausio skersmens dalies galą į atitinkamą didesnio skersmens dalies galą. Jungties ruožas yra 1000 mm ilgio. Atramos dalys gaminamos iš 4 mm storio šalto valcavimo lakštinio plieno DC01AM pagal EN10130 (C255 pagal GOST 27772-88). Ruošiniai karštai cinkuojami. Atrama remiasi ant plieninės 20 mm storio plokštės, sujungtos su stovu kertinėmis virintinėmis siūlėmis bei papildomomis sąstandomis-briaunelėmis (jos privirintos tiek prie atraminės pado plokštelės, tiek prie atramos kevalo). Su pamatu atrama jungiama inkariniais varžtais.

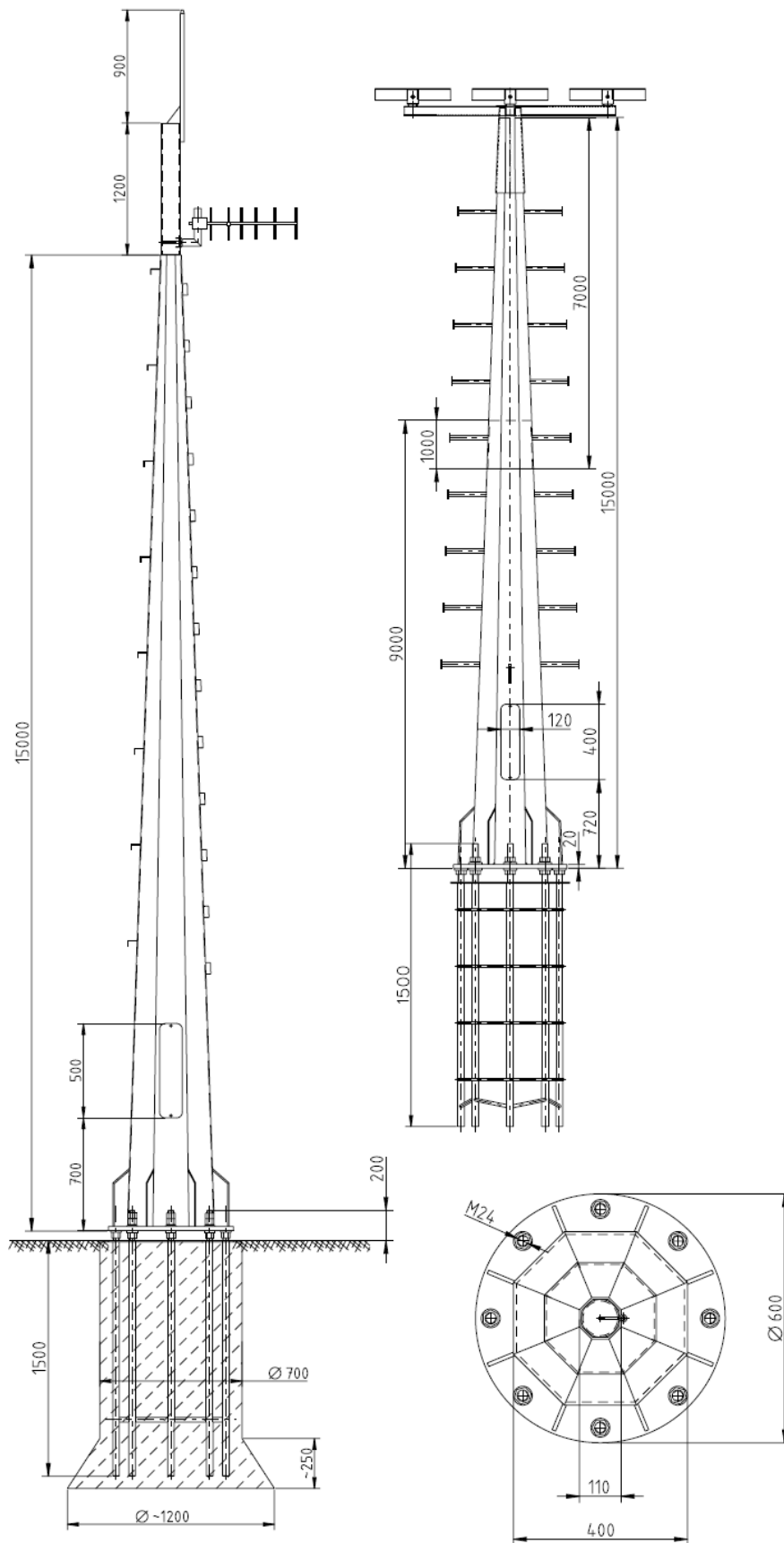
Darbe nagrinėjamos 15 m apšvietimo ir ryšio atramos pagrindiniai matmenys:

- Aukštis – 15 m;
- Didžiausias įbrėžto apskritimo skersmuo – 400 mm;
- Mažiausias įbrėžto apskritimo skersmuo – 110 mm;
- Kamieno dalių sujungimo zonos ilgis – 1000 mm;
- Kamieno sienelės storis – 4 mm;
- Pado plokštės storis – 20 mm.



1.1 pav. 15 m komunikacijų ryšio ir apšvietimo atrama

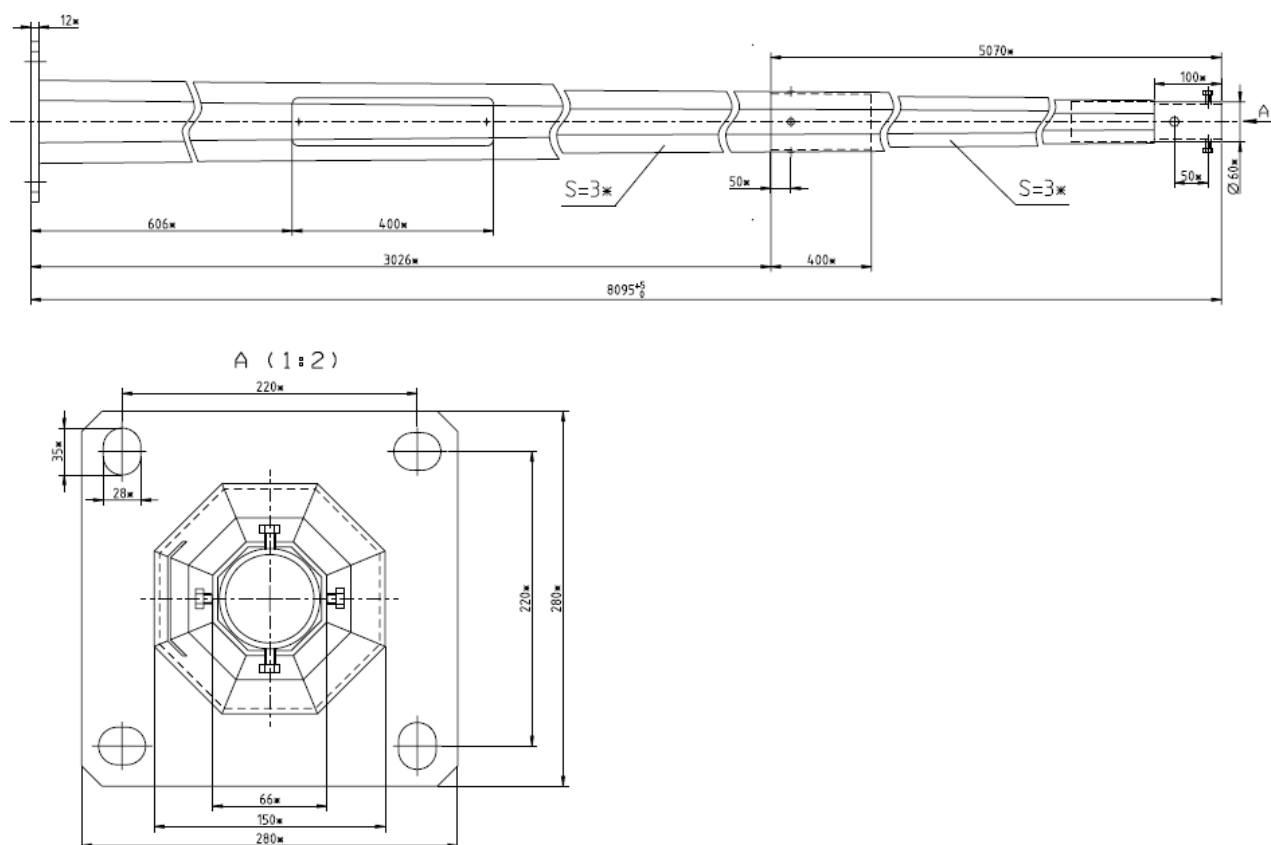
Atramos viršuje gali būti įrengiamos trys 120° kampų simetriškai išdėstytos APX 907016-T0 tipo antenos ir viena 400 mm skersmens parabolinė antena markės EMVVJF (sertifikatas Nr. 1301-UKY 210 73/SC15 Uen), 900 mm ilgio žaibolaidis, arba atrama ant kurios gali būti įvairiai išdėstyti apšvietimo prožektoriai. Taip pat, išilgai stovo pakabintos KHZ200 ir KHZ300 dvi kopėčių konstrukcijos firmos WIBE.



1.2 pav. 15 m aukščio ryšio ir apšvietimo atramos surinkimo vaizdas (variantai su žaibolaidžiu, ryšio antena ir kopėčiomis WIBE bei šviestuvais)

1.2 8 metrų aukščio atramos konstrukcijos aprašymas

Gatvės apšvietimo atramos skirtos gatvės arba įvairių aikščių šviestuvams laikyti. Jos projektuojamos 3 - 12 m aukščio. Nagrinėjama konstrukcija yra 8 m aukščio. Atramos konstrukciją sudaro siaurėjantis į viršų plieninis plonasienis kevalas, taisyklingo lygiakraščio aštuonkampio skerspjūvio. Įbrėžtojo apskritimo mažiausias skersmuo 62 mm, didžiausias - parenkamas, atsižvelgiant į apkrovas, veikiančias statybos vietovėje ir techninius reikalavimus. Numatyta, kad atramos konstrukcija gali būti surenkama iš 2 dalių. Skaičiuojamasis variantas susideda iš dviejų tarpusavyje sumautų ir prikniedytų dalių. Dalys tarpusavyje jungiamos gamykloje, įdedant mažiausio skersmens dalies galą į atitinkamą didesnio skersmens dalies galą. Jungties ruožas yra 400 mm ilgio. Atramos dalys gaminamos iš 3 mm storio šalto valcavimo lakštinio plieno DC01AM pagal EN10130 (C255 pagal GOST 27772-88).. Ruošiniai karštai cinkuojami. Atrama remiasi ant plieninės 12 mm storio plokštės, sujungtos su stovu kertinėmis virintinėmis siūlėmis. Su pamatu atrama jungiama inkariniais varžtais.



1.3 pav 8 m aukščio apšvietimo atramos surinkimo vaizdas

Atramos viršuje gali būti įrengiamos veinašakės arba dvišakės gembės arba įranga montuojama tiesiog ant atramos kamieno.. Gembė tai – lenktas (apie 77°) 60 mm skersmens plieninis vamzdis (sienelės storis 4 mm pagal GOST 8732-78), kurio tiesios dalies ilgis – 915* mm, lenktos – 1170 mm, gembės aukštis 1700 mm.



1.4 pav. 8 m aukščio gatvių apšvietimo atramos.

Atramų konstrukcijos, priklausomai nuo veikiančiųjų apkrovų, gali būti suprojektuotos skirtingų geometrinių matmenų.

Darbe nagrinėjamos 8 m apšvietimo atramos pagrindiniai matmenys:

- Aukštis – 8 m;
- Didžiausias įbrėžto apskritimo skermuo – 150 mm;
- Mažiausias įbrėžto apskritimo skermuo – 68 mm;
- Kamieno dalių sujungimo zonos ilgis – 400 mm;
- Kamieno sienelės storis – 3 mm;
- Pado plokštės storis – 12 mm.

1.3 Atramoms gaminti naudojamos medžiagos

Atramoms gaminti naudojamas RAUTARUUKKI gamykloje pagamintas šaltai valcuotas plonalakštis plastinis plienas CR2 DC01AM pagal EN10130 dydžio standartą. Pagrindinė šaltai valcuoto plonalakščio plastinio plieno savybė – deformacija. Šitie plienai tinka plastiniams darbams, lankstymui, apdirbimui ritinėliais, presavimui, tempiamajai deformacijai ir giliajam ištempimui. Plieno lakštai yra minkštai normalizuoti ir turi valcuotą apdailą, padengti apsauginiu alyvos sluoksniu, kuris apsaugo nuo rūdijimo pervežant ir sandėliuojant. Medžiagos sertifikatas išduodamas pagal standartą EN 10204.

Tiems plienams, kuriems gamykloje atliekamas baigiamasis valcavimas, kuriuo pašalinamas padidintas plastiškumas. Tai apsaugo nuo vadinamųjų takumo juostų atsiradimo tempiamoje deformacijoje ir giliajame traukime. Padidinta takumo riba bėgant laikui, mažėja, t.y plienas sensta

Gamykloje plieniniai ruošiniai po pjovimo lazeriu ir lankstymo operacijų karštai cinkuojami siekiant maksimaliai apsaugoti gaminį nuo korozijos [19]. Atramos plieno pagrindiniai fiziniai ir mechaniniai rodikliai pateikti 1.1 lentelėje [19].



1.5 pav. Plieniniai atramų ruošiniai po karšto cinkavimo

Atramos plieno pagrindiniai fiziniai ir mechaniniai rodikliai

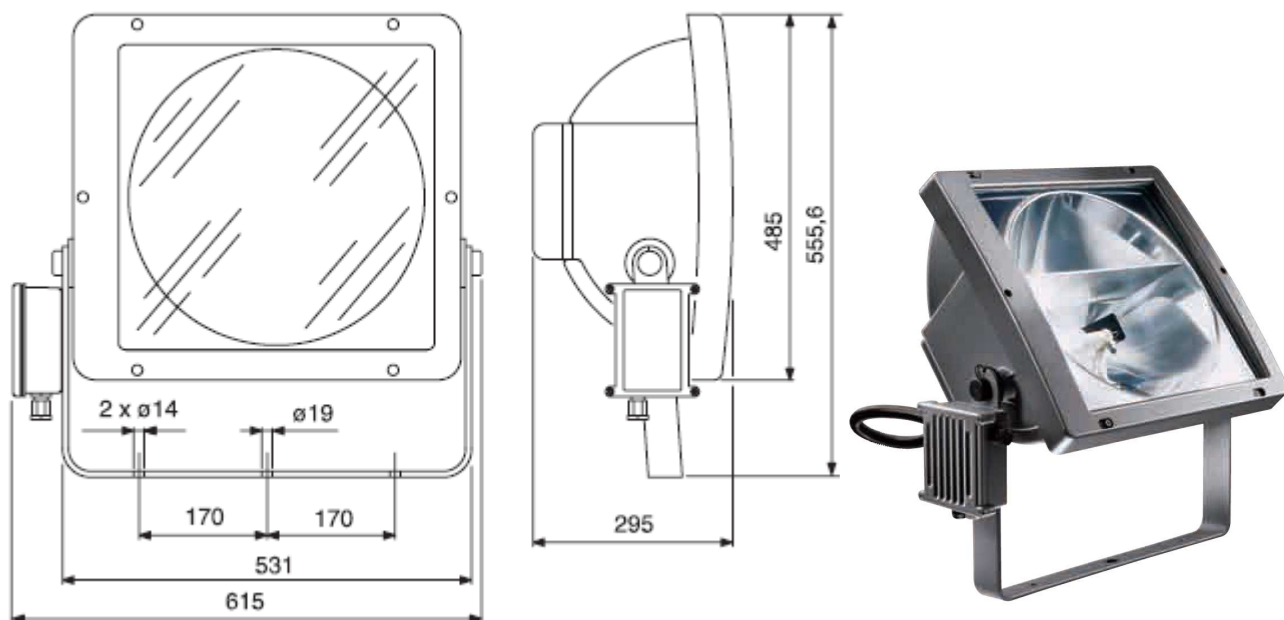
Eilės Nr.	Parametras	Reikšmė	Matavimo vienetas
1.	Tankis	7850	kg/m ³
2.	Tamprumo modulis	206	GPa
3.	Šlities modulis	78	GPa
4.	Skersinio plėtimosi koeficientas	0,3	-
5.	Takumo riba	280	N/mm ²
6.	Tempimo įtempimas	270/410	N/mm ²
7.	Pailgėjimo koeficientas	28	%

Atramos konstrukcinių elementų medžiagų geometrijos ir stiprumo parametrai:

- atramos kamienas - lakštinis plienas 3 mm storio (8 m atramoms), 4 mm storio (15 m atramoms) DC01AM pagal EN10130 (C255 pagal GOST 27772-88);
- atraminė plokštė - lakštinis plienas 12 mm storio (8 m atramoms) 20 mm storio (15 m atramoms), DC01AM pagal EN10130 (C255 pagal GOST 27772-88);
- standumo briaunos - lakštinis plienas 10 mm storio, DC01AM pagal EN10130 (C255 pagal GOST 27772-88);
- inkariniai varžtai – M24, plienas 09I~2C pagal GOST 19281-73*.

1.4 Ant atramų montuojama įranga

Šviestuvai GEWISS COLOSSEUM RANGE pritaikyti dideliems plotams ar aikštėms montuojami ant 15 ir 8 m ilgio atramų. Skaičiavimų metu priimta, kad ant 15 m atramos sumontuoti 5 tokie šviestuvai, o ant 8m – 3.



1.6 pav Šviestuvai GEWISS COLOSSEUM RANGE

Pagrindiniai šviestuvo parametrai:

Lempos galia – 600-1000 W;

Lempos srovė – 6,2-9,8 A;

Paviršiaus plotas veikiamas vėjo – 0,226 m²;

Didžiausi gabaritiniai matmenys – 295x615x556 mm;

Svoris (1 vnt.) – 12,8 kg;

Laidų svoris – 2 kg.

Kopėčios firmos „WIBE“ montuojamos tik ant 15 m atramos jų svoris 4,5 kg paskirtas po visą atramą.

2. VĖJO POVEIKIAI

Daugumai pastatų vėjo apkrova turi būti nagrinėjama kaip kintamas laisvasis poveikis. Tokiems atvejams vėjo apkrovos rezonuojantys komponentai turi mažas reikšmes. Jėgų dinaminis padidėjimas priklauso tik nuo svyruojančių vėjo poveikių ir kietojo kūno geometrijos tarpusavio sąveikos [3].

Vėjo apkrovą reikia nustatyti kaip vėjo slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius vidutinės w_{me} ir pulsavimo w_p dedamųjų sumą. Vėjo slėgio vidutinę dedamąją reikia įvertinti visais atvejais. Pulsavimo dedamąją reikia įvertinti, jei užtvarų savųjų svyravimų dažnis mažesnis, pvz., už 5 Hz (stiebai, bokštai, dūmtraukiai, elektros perdavimo linijų atramos ir t. t.).[3]

Nustatant vėjo slėgį į vidinius konstrukcijos paviršius w_i , taip pat apskaičiuojant daugiaaukščius statinius iki 40 m aukščio ir vienaaukščius pramonės statinius iki 36 m aukščio, kai aukščio ir tarpsnio santykis mažesnis už 1,5, pastatytus A ir B tipo vietovėse, vėjo apkrovos pulsacinės dedamosios leidžiama neįvertinti.[1].

2.1 Vėjo slėgis ir trinties jėgos

Vidutinė vėjo slėgio, veikiančio išorines plokštumas dedamosios, reikšmė nustatoma taikant išraišką [3]:

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e ; \quad (2.1)$$

čia q_{ref} - atskaitinis vėjo slėgis, nustatytas pagal vėjo greitį;

$c(z)$ - poveikio koeficientas, priklausantis nuo aukščio;

c_e - išorinio slėgio aerodinaminis koeficientas.

Slėgis į vidinius konstrukcijos paviršius w_i nustatomas:

$$w_i = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_i . \quad (2.2)$$

čia c_i - vidinio slėgio aerodinaminis koeficientas;

Darbe nagrinėjamo kevalo atveju į šią parametą nebus atsižvelgta, kadangi visos jo paviršiaus angos eksploatacijos metu turi būti uždengtos ir vidinis slėgis nesusidarys.

Vėjo slėgis, veikiantis statmenai sienos arba elemento plokštumai, yra skirtumas tarp vidinių ir išorinių slėgių kiekvienoje plokštumoje su (+) arba (–) ženklu.

Didelių paviršių (pvz. didelių stogų) konstrukcijas veikiančios trinties jėgos t_{fr} gali būti reikšmingos. Jos gali būti nustatytos taikant išraišką[3]:

$$F_{tr} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_{tr} \cdot A_{tr}; \quad (2.3)$$

čia c_{tr} – trinties koeficientas;

A_{tr} – vėjo veikiamas plotas.

Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref} (N/m^2) nustatomas taikant išraišką:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2, \quad (2.4)$$

čia v_{ref} atskaitinis vėjo greitis;

ρ – oro tankis, (kg/m^3).

Oro tankis priklauso nuo altitudės, temperatūros bei slėgio; konkrečiai vietai jis imamas toks, koks būtų audros metu. Jei kitaip nenurodyta, imama, kad $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

2.2 Vėjo greičių rajonai ir kiti duomenys

Atskaitinis vėjo greitis v_{ref} yra vidutinis vėjo greitis, matuotas 10 min. 10 m aukštyje nuo žemės paviršiaus A tipo vietovėse, kurio metinė viršijimo tikimybė yra 0,02 (paprastai imama, kad jis pasikartoja vidutiniškai kartą per 50 metų). Jis nustatomas pagal formulę [3]:

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}, \quad (2.5)$$

čia: $v_{ref,0}$ – vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė;

c_{DIR} – krypties koeficientas, lygus 1,0, jeigu nenurodyta kitaip;

c_{TEM} – laikotarpio (sezono) koeficientas, lygus 1,0;

c_{ALT} – aukščio virš jūros lygio koeficientas, lygus 1,0.

Vėjo greičio pagrindinės atskaitinės reikšmės $v_{ref,0}$ Lietuvos vėjo rajonams pateiktos 2.1 lentelėje, o Lietuvos vėjų rajonų ribos pateiktos 2.1 pav.

2.1 lentelė

Vėjo greičio pagrindinės atskaitinės reikšmės $v_{ref,0}$

Vėjo greičio rajonas	$v_{ref,0}$, m/s
I	24
II	28
III	32

2.2 lentelė

Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref}

Vėjo greičio rajonas	q_{ref} , kN/m ²
I	0,36
II	0,49
III	0,64

2.3 lentelė

Koeficientai $c(z)$, įvertinantys vėjo slėgio pokytį pagal aukštį

Aukštis z , m	Koeficientai $c(z)$ vietovės tipams		
	A	B	C
≤5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥480	2,75	2,75	2,75

Nustatant vėjo apkrovimą, vietovės tipai įvairioms skaičiuotinėms vėjo kryptims gali būti skirtingi.

Koeficientai $c(z)$, įvertinantys vėjo slėgio pokytį pagal aukštį z , nustatomi pagal 18 lentelę, atsižvelgiant į vietovės tipą.

Skiriami tokie vietovės tipai:

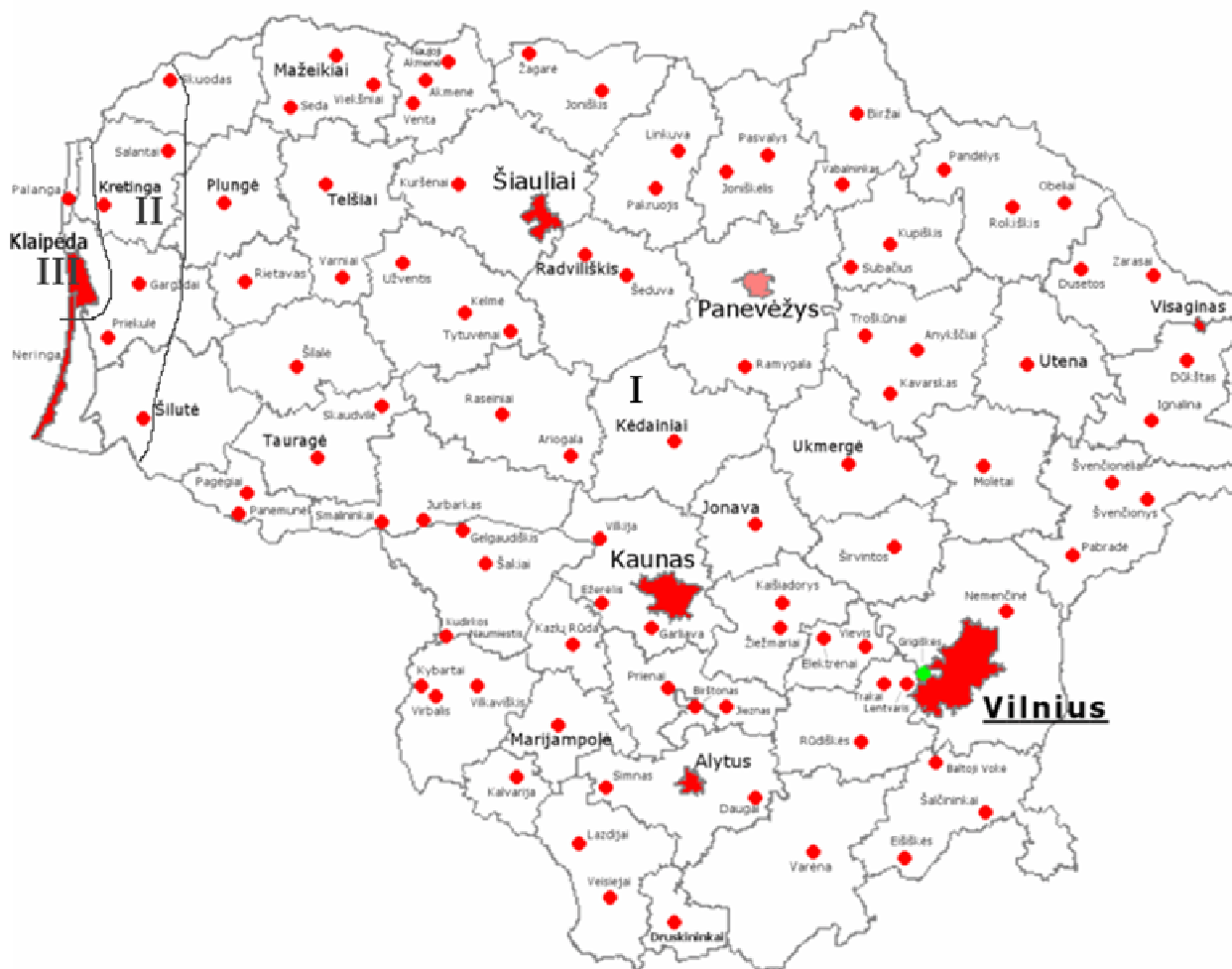
A – atviros jūrų pakrantės, ežerų ir vandens tvenkinių pakrantės;

B – miestų teritorijos, miškų masyvai ir kitos vietovės, kurios yra tolygiai užstatytos aukštesnėmis kaip 10 m kliūtimis;

C – miestų rajonai, užstatyti aukštesniais kaip 25 m statiniais.

Priimama, kad statinys yra nurodyto tipo vietovėje, jeigu ši vietovė iš vėjo pusės tęsiasi $30h$ atstumu, kai statinio aukštis h iki 60 m ir 2 km, kai aukštis didesnis.

Nustatant vėjo apkrovos dedamąsias w_{me} , F_{tr} , w_i , reikia taikyti atitinkamų aerodinaminių koeficientų išorinio slėgio c_e , trinties c_{tr} , vidinio slėgio c_i reikšmes, pateiktas STR 2.05.04:2003 [4] priedo 1 lentelėje.



2.1 pav Lietuvos vėjo rajonai

2.3 Vėjo apkrovos pulsacinė dedamoji

Vėjo apkrovos pulsavimo dedamosios w_p aukštyje z reikšmę reikia nustatyti statiniams (ir jų konstrukciniams elementams), kurių savųjų svyravimų pirmasis dažnis f_1 , Hz, didesnis už ribinį savųjų svyravimų dažnį f_{lim} (žr. Reglamento [3] 201 punktą), pagal formulę:

$$w_p = w_{me} \xi \nu \quad (2.6)$$

čia w_{me} – nustatoma pagal 2.1 formulę;

ξ - vėjo slėgio pulsavimo koeficientas aukštyje z , imamas iš 2.4 lentelės;

ν – vėjo slėgio pulsavimo erdvinės koreliacijos koeficientas nustatomas pagal STR 2.05.04:2003 .

Pulsavimo slėgio erdvinės koreliacijos koeficientą ν reikia nustatyti pastato skaičiuotinam paviršiui, kuriam įvertinama pulsavimo koreliacija. Skaičiuotinas paviršius apima tuos priešvėjinius, pavėjinius šoninius sienų, stogų paviršius ir panašias konstrukcijas, nuo kurių vėjo slėgis perduodamas statinio skaičiuotinam elementui. [2]

2.4 lentelė

Vėjo slėgio pulsacijos koeficientas

Aukštis z , m	Vėjo slėgio pulsavimo koeficientas ξ vietovės tipams		
	A	B	C
≤ 5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,50
40	0,62	0,80	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,70	1,06
100	0,54	0,67	1,00
150	0,51	0,62	0,90
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,80
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73
≥ 480	0,46	0,50	0,68

Cilindrinės formos statiniams, kai $f_1 < f_{lim}$, būtina papildomai atlikti skaičiavimus sukuriam sužadanimui (vėjo rezonansui). Svyravimų logaritminio dekremento δ reikšmę plieniniams bokštams, stiebams, futeruotiems dūmtraukiams, kolonų tipo aparatams, įskaitant esančius ant gelžbetoninių paaukštinių reikia imti: $\delta = 0,15$ [3].

Savųjų svyravimų dažnių ribinės reikšmės f_{lim} , Hz, leidžiančios neįvertinti inercijos jėgų, susidarantių, esant atitinkamos savosios formos svyravimams

Lietuvos vėjo apkrovos rajonai (imami pagal 3 priedo žemėlapi)	f_{lim}	
	$\delta=0,3$	$\delta=0,15$
I	0,95	2,9
II	1,1	3,4
III	1,2	3,8

3. PANAŠIŲ ATRAMŲ ANALIZĖS APŽVALGA

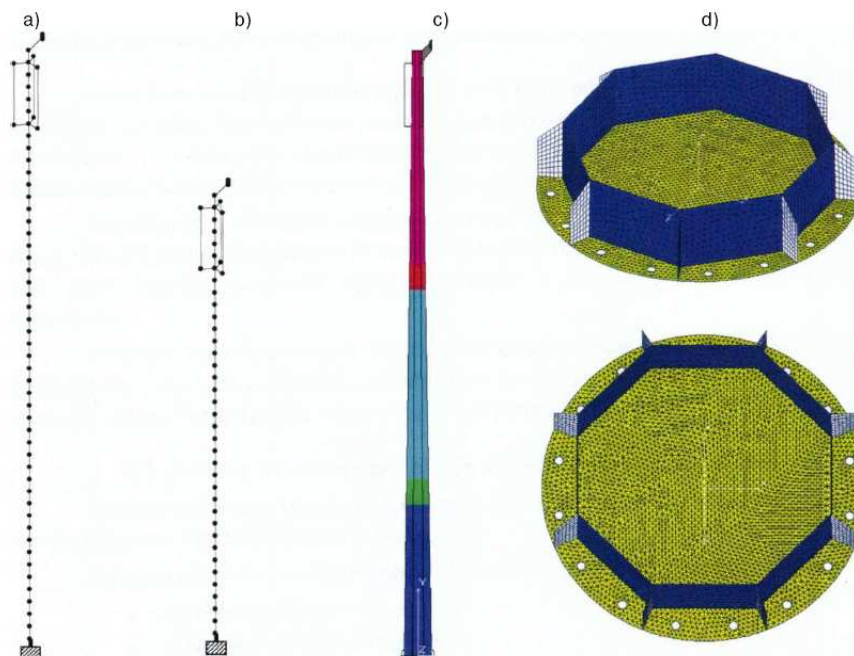
2004 metais UAB „IN RE“ atliko 24 ir 18 metrų aštuoniabriaunio kintamo skerspjūvio komunikacijų ryšio ir apšvietimo atramų skaičiavimus ir analizę pagal UAB „Elga“ sutartį Nr. 03-PD-11. Skaičiavimai atlikti remiantis Lietuvoje galiojančių projektavimo normų nuorodomis bei reikalavimais.

3.1 Bendrieji nuostatai

Konstrukcijos mechaniniam būviui analizuoti buvo taikoma erdvinė strypinė vienmačių baigtinių elementų sistema bei erdvinė plonasienio kevalo baigtinių elementų sistema. Atramos konstrukcijos įtempimų ir deformacijų būviui apibūdinti buvo taikoma vienmačio modelio, t. y. gembės tipo kintamo skerspjūvio strypo, analizė.

Atramos bei antenų masės buvo pridedamos automatiškai, atsižvelgiant į pateiktus strypų tiesinio svorio bei medžiagos tankio rodiklius.

Skaičiuojant pirmąjį modelį buvo taikoma kompiuterinė programa STAAD.Pro 2002 sertifikuota pagal ISO 9000 ir RST standartus. Skaičiuojant antrąjį modelį buvo taikoma kompiuterinė programa COSMOS/M.[4]



3.1 pav. Atramų erdviniai modeliai: vienmatis 24 m (a); vienmatis 18 m (b); dvimatis 24 m (c) ir šio modelio atraminis mazgas (d)

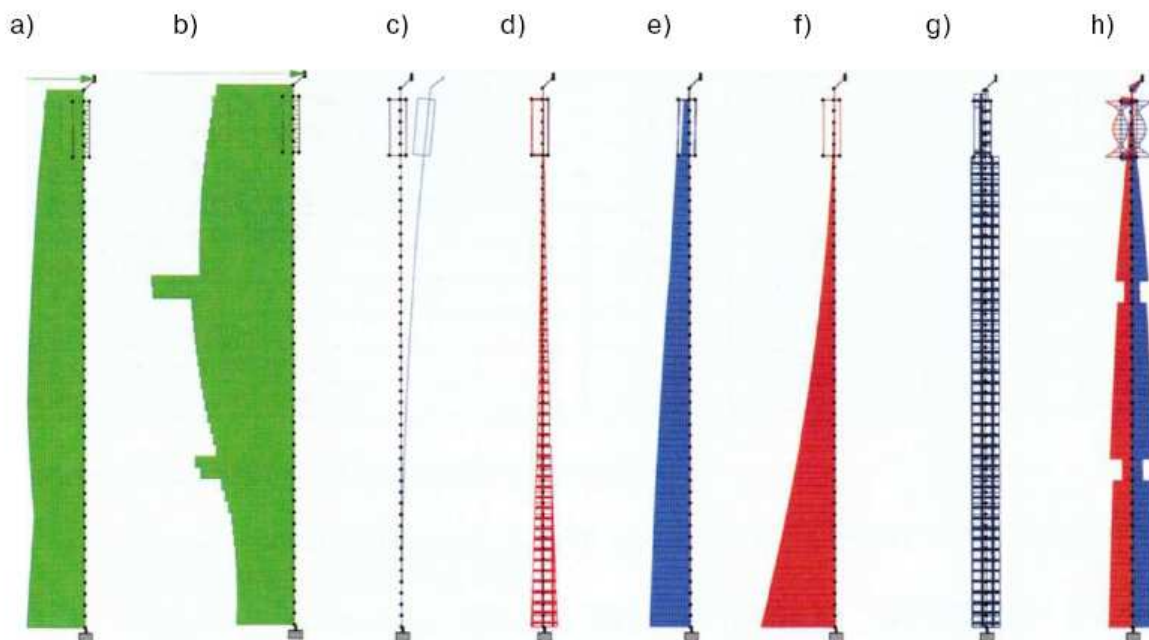
Vėjo statinės dedamosios poveikis apskaičiuotas, atsižvelgiant į projektavimo normų reikalavimus ir pateiktas normų metodikas. Vėjo apkrova pridedama prie atramos kamieno ir prie antenų.

Vėjo apkrovos statinis poveikis su pulsacine dedamąja apskaičiuotas, atsižvelgiant į atramų geometriją, žemiausiąjį savųjų virpesių dažnį ir atramos masę. Ši apkrova pridedama prie atramos stovo ir prie antenų.

Suskaičiavus, užfiksuoti kelios būdingos zonos, kuriose yra pavojingiausi parametrai: didžiausias įtempimas; didžiausias linijinis poslinkis horizontaliaja kryptimi; didžiausioji deviacija. Taip pat buvo fiksuojamos konstrukcijos atraminės reakcijos, pagal kurias papildomai suskaičiuotos inkarinių varžtų didžiausios įrašos. Skaičiuojant įtempimus atsižvelgta į pirmojo ribinio būvio reikalavimus, skaičiuojant poslinkius - į antrojo.[4]

3.2 Vienmačio modelio skaičiavimo trumpa rezultatų apžvalga

Analizuojant skaičiavimų rezultatus atramos konstrukcijoje buvo išskiriamos pavojingos zonos ties skerspjuvio pasikeitimo vietomis (kamieno dalių sujungimo zonos) ir ties tempimų koncentratoriais (kamieno ir atraminės plokštės sandūra, sąstandų su kamieniu ir atramine plokšte jungimo sritis).



3.2 pav 24 m atramos skaičiavimo rezultatų vieno iš variantų statinė (a) ir statinė su dinamine dedamąja (b) apkrovos, deformuotoji schema (c) ir diagramos: ašiniujėgų (d); skersinių jėgų (e); lenkimo momentų (f); sukimo momentų (g); įtempimų (h)

Didžiausios ir labiausiai apkarautos atramos 24m 1100x400 mm skaičiavimo rezultatai:

- savųjų virpesių žemiausieji dažniai yra: 2,15 Hz, 8,16 Hz, 19,65 Hz (ribinė dažnio reikšmė sudaro 3,8 Hz);
- Didžiausieji normuojami atramos kamieno įtempimai 152 MPa yra 7,0 m aukštyje;
- Didžiausias normuojamas linijinis poslinkis - 221 mm yra 24,0 m aukštyje;
- Vieno inkarinio varžto didžiausioji tempimo jėga sudaro 170,9 kN.

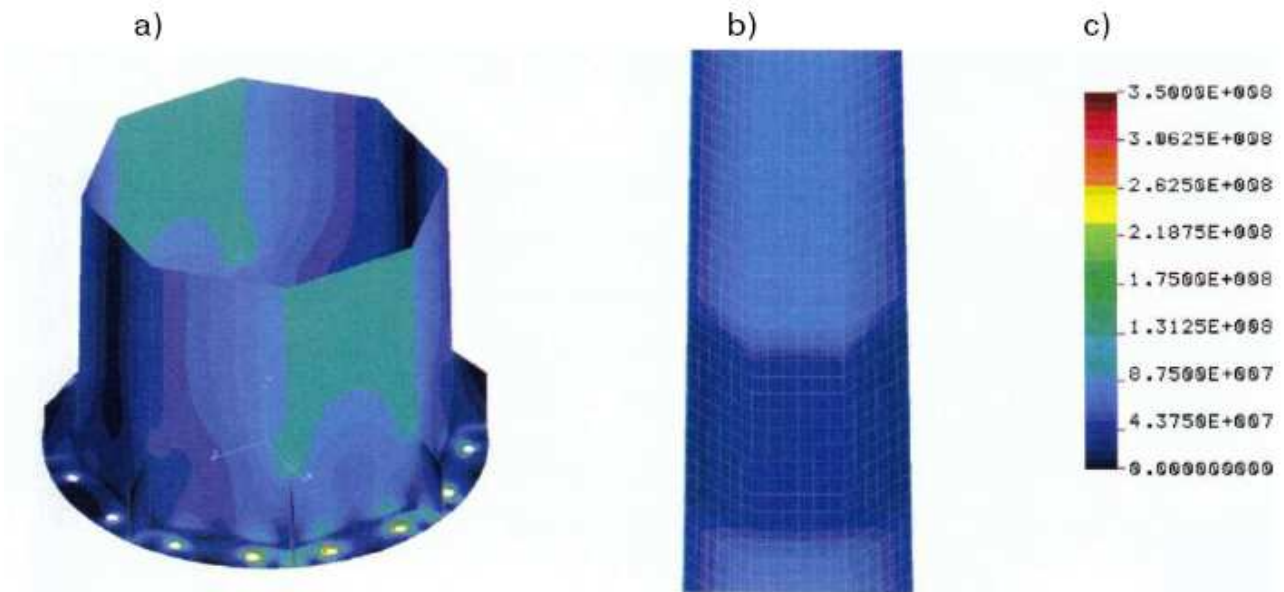
3.3 Kevalo baigtinių elementų modelio trumpa skaičiavimo rezultatų apžvalga

Programa COSMOS/M buvo taikoma, siekiant patikrinti ir detalizuoti vienmačio modelio skaičiavimo rezultatus. Skaičiuojant atramą šia programa panaudoti kitokie principai - nagrinėjamas kevalo baigtinių elementų modelis, o apkrovos pridedamos paviršinio slėgio pavidalu. Modeliuojant kevalo baigtiniais elementais, buvo skaičiuotas pavojingiausias atvejis - labiausiai apkrautoji ir tuo pačiu stambiausia 24 m atrama, kurios viršutinio galo skersmuo 400 mm, o apatinio - 1100 mm. Buvo nagrinėtas atvejis, kai veikia kartu dinaminė ir statinė apkrovos. Pagrindiniai skaičiavimo tikslai:

- ištirti įtempimų koncentracijos didumą ir įtaką konstrukcijai;
- ištirti konstrukcijos vietinį stabilumo praradimą ;
- patikrinti atraminio mazgo deformavimą bei įtempimų būvį;
- patikrinti apkrovas į inkarinius varžtus.

Didžiausios ir labiausiai apkarautos atramos 24m 1100x400 mm skaičiavimo rezultatai:

- Atramos 24 m 1100x400 mm savųjų virpesių žemiausieji dažniai yra: 2,19 Hz, 8,30 Hz, 20,87 Hz (ribinė savųjų virpesių dažnio reikšmė sudaro 3,8 Hz).
- Didžiausieji normuojami svarbiausieji įtempimai 171 MPa yra ties atraminės plokštės ir standumo briaunos sujungimo zona.
- Įtempimų nedidelė koncentracija pastebėta atramos dalų sandūrų vietose bei apatiniame mazge ties sąstandomis. Didžiausias atraminio mazgo elementų ekvivalentinis įtempimas sudaro 139,7 MPa.



3.3 pav Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingiausiose vietose: atraminis mazgas (a); pirmosios ir antrosios stovo dalies jungtis (b); svarbiausiųjų įtempimų skalė (c)

Tokia metodika leidžia pakankamai išsamiai išanalizuoti komunikacijų ryšio ir apšvietimo atramų stiprumą. Ji nepatogi tuo, kad projektuotojui reikia:

- Įsisavinti kelis baigtinių elementų programinius paketus, kad gautų tinkamus rezultatus.
- Tenka atlikti daugiau skaičiavimų naudojant erdvinę strypinę vienmačių baigtinių elementų sistemą.
- Kelis kartus modeliuoti tas pačias atramas pritaikant skirtingiems programiniams paketams.
- Įvertinama nemažai parametrų, neturinčių įtakos atramų stiprumui.

Atliekant šias užduotis sugaištama daug laiko, todėl būtina pasiūlyt paprastesnę metodiką tokių atramų stiprumo analizei.

Be to analizė buvo atlikta remiantis Rusijos federacijos teritorijoje galiojančiomis projektavimo normomis, kurios šiek tiek skiriasi nuo lietuviškų.

4. PRADINIAI DUOMENYS ATRAMŲ ANALIZEI BEM

Pagrindinis šių skaičiavimų tikslas - išanalizuoti gaminamų konstrukcijų tinkamumą statyti 1, 2 ir 3 Lietuvos vėjo rajonuose pagal reglamento STR 2.05.04:2003 ir LST EN 1991-1-4:2005 bei pateikti siūlymus ir rekomendacijas dėl šių konstrukcijų pakeitimo, siekiant užtikrinti jų eksploatacinių ir projektinių parametrų atitikimą galiojančių projektavimo normų reikalavimams.

Svarbu pasiūlyti skaičiavimo metodiką, kuri netik leistų tinkamai įvertinti visus svarbiausius atramas veikiančius veiksnius bet ir būtų lengvai prieinama projektuotojui.

Iki šiol panašių atramų skaičiavimai buvo atliekami remiantis STR 2.05.04:2003 ir СНиП 2.01.07-85 reglamentais. Analizuojama pasitelkus STAAD Pro ir COSMOS/M vienmačius bei trimačius baigtinių elementų programinius paketus. Plačiau ši metodika apžvelgta trečiame darbo skyriuje.

Pagal darbo autoriaus metodiką atramos bus analizuojamos atsižvelgiant į visas šiuo metu galiojančias projektavimo normas ir rekomendacijas. Analizei baigtinių elementų metodų pasitelkta pati šiuolaikiškiausia ir labai sparčiai plintanti programinė įranga COSMOSWorks Designer 2008. Plačiau apie šio metodo taikymą darbe aprašyta penktame skyriuje.

Šiame skyriuje pateikiami pradiniai skaičiavimai ir duomenys reikalingi analizei baigtinių elementų metodu.

4.1 Pagrindiniai skaičiavimo principai ir vertinimo kriterijai

Skaičiuojant atramą buvo taikomi tokie principai:

- visos statinės apkrovos pridedamos konservatyviai (nekintamos laike);
- pulsacinė vėjo slėgio dedamoji pridedama kvazistatiškai;
- atrama su pamatu sujungta standžiai.

Techninė užduotis reglamentuoja atramos horizontalius ribinius poslinkius, veikiant nusistovėjusiam vėjo srautui (tiktai statinė vėjo apkrovos dedamoji), ir laikomąją galią, veikiant nenusistovėjusiam vėjo srautui (kartu statinė ir pulsacinė vėjo apkrovos dedamosios).

- Konstrukcijos horizontaliu ribiniu poslinkiu laikomas poslinkis, sudarantis 1/100 atramos aukščio, 15 m atramos atveju – 150 mm, 8 m atramos atveju – 80 mm.
- Ribiniu įtempimu laikomas padaugintas iš konstrukcinio elemento patikimumo koeficiento 0,90 skaičiuojamasis stipris, tai C255 pagal GOST 27772-88 plienui $R_y = 240$ MPa ir C345 pagal GOST 27772-88 plienui $R_y = 335$ MPa.
- Skaičiavimuose priimta, kad šio statinio patikimumo koeficientas yra 1,00.

- Ribinė savųjų svyravimų dažnio reikšmė sudaro 3,8 Hz. (trečiasis vėjo rajonas)

Sniego apkrovos įtaka konstrukcijai nenagrinėjama, nes šiuo atveju sniegui nėra sąlygų įvairiomis formomis susikaupti ant atramos paviršiaus ar jos viduje.

Apledėjimo įtaka konstrukcijai nenagrinėjama, nes šiuo atveju konstrukcijos svorio padidėjimas rezultatus įtakoja teigiamai, o paviršiaus ploto padidėjimas yra nežymus.

Pagal šiuo metu galiojančias apkrovų parinkimo normas, esant statinio aukščiui žemesniam nei 40 m, vėjo apkrovos pulsacinės dedamosios leidžiama nenagrinėti. Tačiau, atsižvelgiant į pateiktosios konstrukcijos jautrumą dinaminiais poveikiams, šiose skaičiavimuose buvo nagrinėjama pulsacinės vėjo apkrovos dedamosios įtaka.

4.2 Vėjo paviršinio slėgio statinės dedamosios nustatymas

Vėjo paviršinis slėgis nustatomas remiantis šiuo metu galiojančiomis projektavimo normomis pagal STR 2.05.04:2003 ir LST EN 1991-1-4:2005. Formulės reikalingos apskaičiuoti parametrus duotajam atvejui pateiktos darbo antrame skyriuje „Vėjo poveikiai“.

Vidutinė vėjo slėgio, veikiančio išorines plokštumas, reikšmė w_{me} 15 ir 8 m aukščio atramoms nustatoma taikant išraišką: 2.1

Pirmasis vėjo rajonas:

$$w_{me1.1} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,14 kN / m^2 ; \quad (4.1)$$

$$w_{me1.2} = 0,36 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 0,19 kN / m^2 ; \quad (4.2)$$

Antrasis vėjo rajonas:

$$w_{me1.1} = 0,49 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,2 kN / m^2 ; \quad (4.3)$$

$$w_{me1.2} = 0,49 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 0,25 kN / m^2 ; \quad (4.4)$$

Trečiasis vėjo rajonas:

$$w_{me3.1} = 0,64 \cdot 0,75 \cdot 0,8 = 0,4 kN / m^2 ; \quad (4.5)$$

$$w_{me3.2} = 0,64 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,51 kN / m^2 . \quad (4.6)$$

Vėjo paviršinio slėgio skaičiavimo duomenys pateikiami 4.1 lentelėje:

Vėjo paviršinio slėgio statinė dedamoji

Eilės Nr.	Aukštis nuo žemės paviršiaus	1 vėjo rajonas	2 vėjo rajonas	3 vėjo rajonas
1.	0-5 m	0,14 kN/m ²	0,2 kN/m ²	0,4 kN/m ²
2.	5-15 m	0,19 kN/m ²	0,25 kN/m ²	0,51 kN/m ²

4.3 Vėjo paviršinio slėgio pulsacinės dedamosios nustatymas

Vėjo paviršinis slėgis nustatomas remiantis šiuo metu galiojančiais projektavimo normomis pagal STR 2.05.04:2003. Formulės reikalingos apskaičiuoti parametrus duotajam atvejui pateiktos darbo antrame skyriuje „Vėjo poveikiai“.

Vėjo apkrovos pulsavimo dedamosios w_p aukštyje z (2.3 lentelė) nustatoma pagal 2.6 formulę:

Pirmasis vėjo rajonas:

$$w_{p1,1} = 0,144 \cdot 1,22 \cdot 0,95 = 0,17 \text{ kN} / \text{m}^2; \quad (4.6)$$

$$w_{p1,2} = 0,19 \cdot 1,22 \cdot 0,92 = 0,21 \text{ kN} / \text{m}^2; \quad (4.7)$$

Antrasis vėjo rajonas:

$$w_{p2,1} = 0,2 \cdot 1,22 \cdot 0,95 = 0,23 \text{ kN} / \text{m}^2; \quad (4.8)$$

$$w_{p2,2} = 0,25 \cdot 1,22 \cdot 0,92 = 0,28 \text{ kN} / \text{m}^2; \quad (4.9)$$

Trečiasis vėjo rajonas:

$$w_{p3,1} = 0,4 \cdot 1,22 \cdot 0,95 = 0,46 \text{ kN} / \text{m}^2; \quad (4.10)$$

$$w_{p3,2} = 0,51 \cdot 1,22 \cdot 0,92 = 0,57 \text{ kN} / \text{m}^2. \quad (4.11)$$

Vėjo paviršinio slėgio su pulsacine dedamąja skaičiavimo duomenys pateikiami 4.2 lentelėje:

Vėjo paviršinio slėgio pulsacinė dedmoji

Eilės Nr.	Aukštis nuo žemės paviršiaus	1 vėjo rajonas	2 vėjo rajonas	3 vėjo rajonas
1.	0-5 m	0,17 kN/m ²	0,23 kN/m ²	0,46 kN/m ²
2.	5-15 m	0,21 kN/m ²	0,28 kN/m ²	0,57 kN/m ²

4.4 Vėjo paviršinio slėgio nustatymas

Kaip jau buvo minėta trečiame darbo skyriuje, vėjo apkrovą reikia nustatyti kaip vėjo slėgio w išorinius konstrukcijos paviršius vidutinės w_{me} ir pulsavimo w_p dedamųjų sumą. Tą padarome pagal elementarią formulę [10]:

$$w = w_{me} + w_p \quad (4.12)$$

čia w_{me} - vidutinė vėjo slėgio, veikiančio išorines plokštumas dedamoji;

w_p - vėjo slėgio pulsacinė dedamoji.

Pirmasis vėjo rajonas:

$$w_{1,1} = 0,14 + 0,17 = 0,31 \text{ kN} / \text{m}^2 ; \quad (4.13)$$

$$w_{1,2} = 0,19 + 0,21 = 0,4 \text{ kN} / \text{m}^2 . \quad (4.14)$$

Antrasis vėjo rajonas:

$$w_{2,1} = 0,2 + 0,23 = 0,43 \text{ kN} / \text{m}^2 ; \quad (4.15)$$

$$w_{2,2} = 0,25 + 0,28 = 0,53 \text{ kN} / \text{m}^2 . \quad (4.16)$$

Trečiasis vėjo rajonas:

$$w_{3,1} = 0,4 + 0,46 = 0,86 \text{ kN} / \text{m}^2 ; \quad (4.17)$$

$$w_{3,2} = 0,51 + 0,57 = 1,08 \text{ kN} / \text{m}^2 . \quad (4.18)$$

Vėjo paviršinis slėgis

Eilės Nr.	Aukštis nuo žemės paviršiaus	1 vėjo rajonas	2 vėjo rajonas	3 vėjo rajonas
1.	0-5 m	0,31 kN/m ²	0,43 kN/m ²	0,86 kN/m ²
2.	5-15 m	0,4 kN/m ²	0,53 kN/m ²	1,08 kN/m ²

4.5 Papildomos įrangos svorio įvertinimas

Ant atramų gali būti montuojama įvairi įranga. Ant 15 m atramos galima montuoti ryšio antenas, žaibolaidžius, šviestuvus. Ant 8 m atramos dažniausiai montuojami tik šviestuvai. Modeliuojant baigtiniais elementais įrangos svoris bus pridedamas automatiškai ir priimamas sunkiausios įrangos svoris taip pat kopėčių (tik 15m atramai) ir laidų. Svorio duomenys paimti iš įrangos gamintojų pateiktų specifikacijų ir sertifikatų. Duomenys naudojami analizei BEM pateikti 4.4 lentelėje.

Papildomos įrangos svoris

Papildoma įranga	15 m aukščio atramai	8 m aukščio atramai
Šviestuvai GEWISS COLOSSEUM RANGE	64 kg (5 vnt.)	38,5 (3 vnt)
Kopėčių firmos „WIBE“	4,5 kg	-
Kabeliai ir laidai	2 kg	1,5 kg
	Viso: 70,5 kg	Viso: 40 kg

5. ATRAMŲ TYRIMAS BAIGTINIŲ ELEMENTŲ METODU

Klasikiniai metodai konstrukcijų ir jų elementų stiprumui apskaičiuoti yra labai sudėtingi ir nepatogūs, todėl vis dažniau taikomi inžineriniai kompiuteriniai (skaitiniai) metodai: kraštinių elementų (diskretizuojamas srities kraštas), baigtinių elementų ir baigtinių skirtumų (diskretizuojama visa sritis) metodai, pagrįsti vientisos visumos dalijimu į mažesnes sritis. Srities diskretizacija - tai nagrinėjamos srities diskretinio modelio sudarymas (srities sudalinimas į baigtinių skaičių pasirinktos formos elementų, mazgų nustatymas ir numeravimas).

BEM buvo sukurtas sprendžiant įtempimų analizės uždavinius. Tai plačiausiai paplitęs metodas, taikomas konstrukcijų statinio atsparumo, šilumos perdavimo, hidraulikos, elektrostatikos, dinamikos ir kt. uždaviniams spręsti, atliekant šių konstrukcijų stiprumo ir ilgaamžiškumo patikrinimą. *BEM* - tai metodas, kuriame aproksimuojama funkcija formuojama iš mažoje srityje (baigtiniame elemente) apibrėžtų paprastų funkcijų, kurių paprasta polinominė išraiška gauta pagal reikšmes elementų ribojančiuose mazguose.

BEM ypatumai: yra apytikslis matematinis metodas; tinka tiesiniams ir netiesiniams uždaviniams spręsti; sritis gali būti dalijama kelių rūšių *BE*; yra universalus. Tačiau reikia daug pradinės informacijos [6].

Sprendžiant deformuojamojo kūno mechanikos uždavinius baigtinių elementų metodu, atliekami tokie etapai:

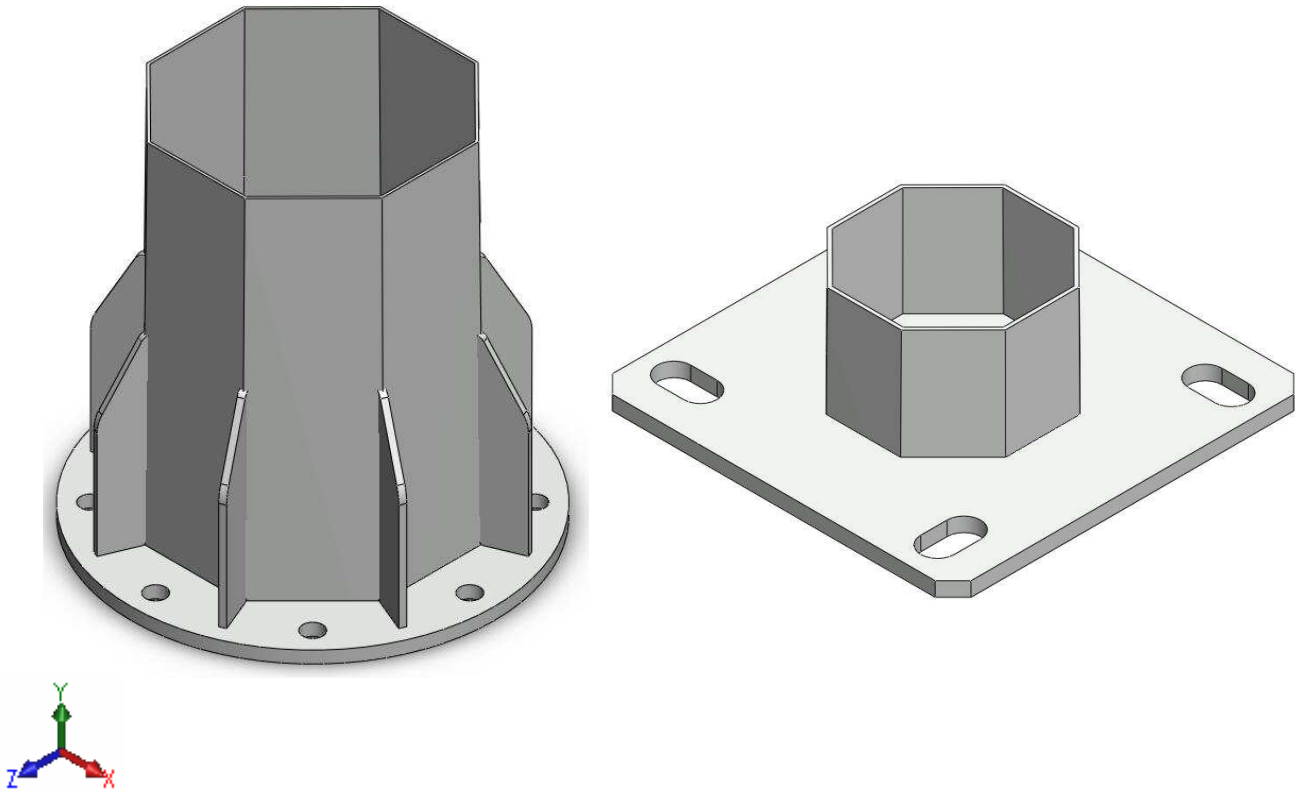
1. Konstrukcijos arba srities dalijimas į baigtinius elementus.
2. Kiekvieno baigtinio elemento standumo matricų formavimas (nustatomas ryšys tarp elemento mazgų apkrovų ir šių mazgų poslinkių).
3. Elementų ryšio nustatymas ir bendro *BEM* modelio suformavimas (globalinės standumo matricos formavimas).
4. Apkrovų *BEM* modelyje paskirstymas ir įvertinimas.
5. Įtvirtinimo (kraštinių) sąlygų įvertinimas ir atitinkamas *BEM* modelio modifikavimas.
6. Tiesinių algebrinių lygčių sistemos sprendimas, kurio metu nustatomi mazgų poslinkiai.
7. Elementų santykinų deformacijų ir įtempimų elementuose skaičiavimas.

5.1 Atramų analizė ir bedrieji nuostatai

Prieš pradėdant analizuoti atramas buvo atidžiai išstudijuoti jų darbo brėžiniai ir papildomos įrangos sertifikatai bei gamintojų rekomendacijos. Svarbus etapas yra išsirinkti programinę įrangą tokiems darbams. Renkantis buvo atsižvelgta į profesionalų konsultacijas, vartotojų atsiliepimus, naudojimo patogumą, suderinamumą bei pačios įrangos prieinamumą studentui. Paprastai BEM programiniai paketai yra labai brangūs bei reikalauja didelių techninės įrangos resursų. Kaip tik dėl šios priežasties buvo pasirinktas vienas pilnai tarpusavyje suderintas programinis paketas.

Trimačiams atramų modeliams kurti panaudotas **SolidWorks 2008 Office Premium CAD** programinis paketas. Tai yra trimačio projektavimo sprendimas, kuris sudaro galimybes atlikti visus projektavimo etapus: trimačio modelio kūrimą, jo pristatymą; gaminio mechanizmų kinematinį bei dinaminį skaičiavimą; gaminio atskirų detalių bei mazgų stipruminius skaičiavimus, įskaitant ir įvairias jungtis bei atramas (pvz. varžtiniai bei suvirinti sujungimai, tamprus pagrindas ir t.t.); darbo dokumentacijos (brėžinių ir specifikacijų) kūrimą; vamzdynų bei elektros instaliacijos išvedžiojimą; projekto duomenų saugojimą ir bendrą naudojimą, pritaikant PDMWorks techninės dokumentacijos valdymo sistemas [22]. SolidWorks Office Premium yra ypač stiprus pagrindinių produktyvumą garantuojančių įrankių rinkinys apimantis 3D inžinerinio projektavimo programą, aibę papildomų projektavimo bei komunikavimo įrankių bei PDMWorks techninės dokumentacijos valdymo sistemą, skirtą projekto duomenų saugojimui ir bendram naudojimui

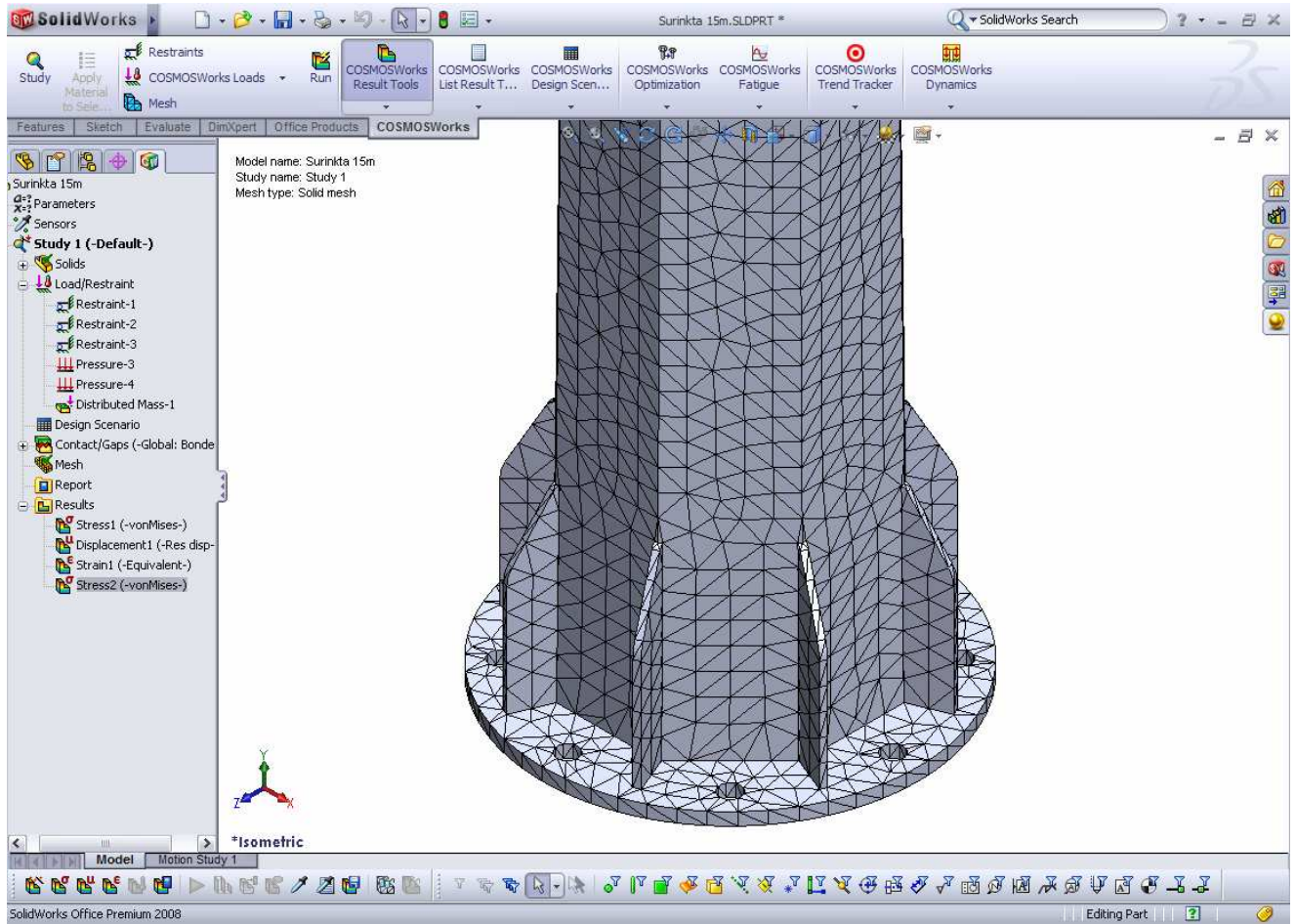
Stiprumo analizei baigtiniu elementų metodu panaudotas **COSMOSWorks Designer 2008**. COSMOSWorks yra galinga bei patogi naudojimui baigtinių elementų (BE) analizės ir optimizavimo programa, visiškai suderinta su SolidWorks programine įranga. Ją galima naudoti bet kokio tipo analizei (statika, pastovumo analizė, fizinis ir geometrinis netiesiškumas ir t.t.) ir bet kokio tipo konstrukcijos (tūrinis ar kevalinis modelis, rėminė konstrukcija, ar jų kombinacija) tyrimui. Be įprastos struktūrinės analizės, programinės įrangos pakete numatyta judesio, kritimo imitavimo, nuovargio, terminė bei elektromagnetinė analizės. Darbas minėta įranga projektuotojams padeda išvengti brangiai kainuojančių klaidų.



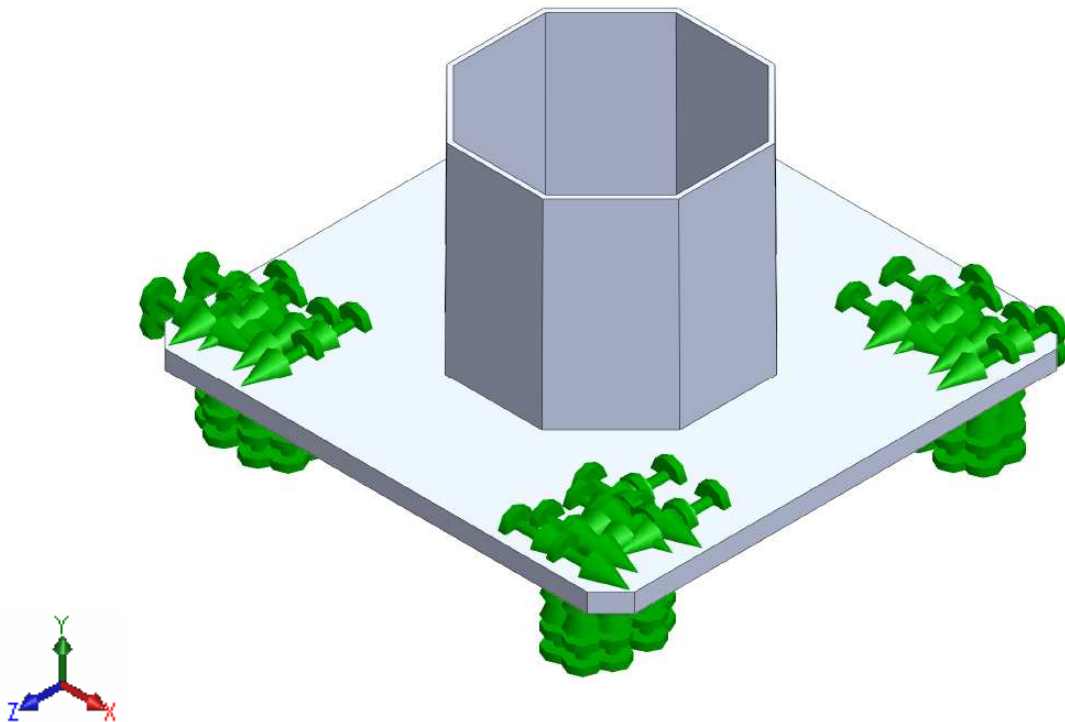
5.1 pav. 15 ir 8 metrų atramų atraminių mazgų trimačių modelių pjūviai

Skaičiuojant atramas šia programa nagrinėjamas trimatis suvirinto mazgo baigtinių elementų modelis. Prieš pradėdant analizuoti mazgą reikalinga kiekvienam jo elementui priskirti medžiagą, taip pat teisingai įvertinti ryšius bei tvirtinimą. Kadangi tvirtinimo elementai buvo analizuojami ir įvertinti ankstesniuose skaičiavimuose čia bus priimta, kad atrama standžiai įtvirtinta į pamatą (15 m) ir gruntą (8m). Sekantis etapas – pridėti ankščiau apskaičiuotas, atramą veikiančias, apkrovas. Vėliau būtina sudaryti BEM tinklą. Programa leidžia pasirinkti jo tankumą. Po tinklo sudarymo seka paskutinis etapas – studija. Po šio etapo gaunami konkretūs iliustruoti rezultatai. Šiuo atveju svarbiausios – deformacijų, įtempimų ir linijinių poslinkių reikšmės.

15 metrų aukščio atrama su sudarytu BEM tinklu programos Cosmosworks lange pavaizduota 5.2 paveiksle. Ta pati atrama įtvirtinta ir apkrauta parodyta 5.4 pav. Žalioomis rodyklėmis parodytas įtvirtinimas, rudomis bei raudonomis – atramą veikiančias statinis vėjo slėgis su pulsacine dedamąja. Skirtingos rodyklių spalvos rodo skirtingas statinio vėjo slėgio reikšmes.



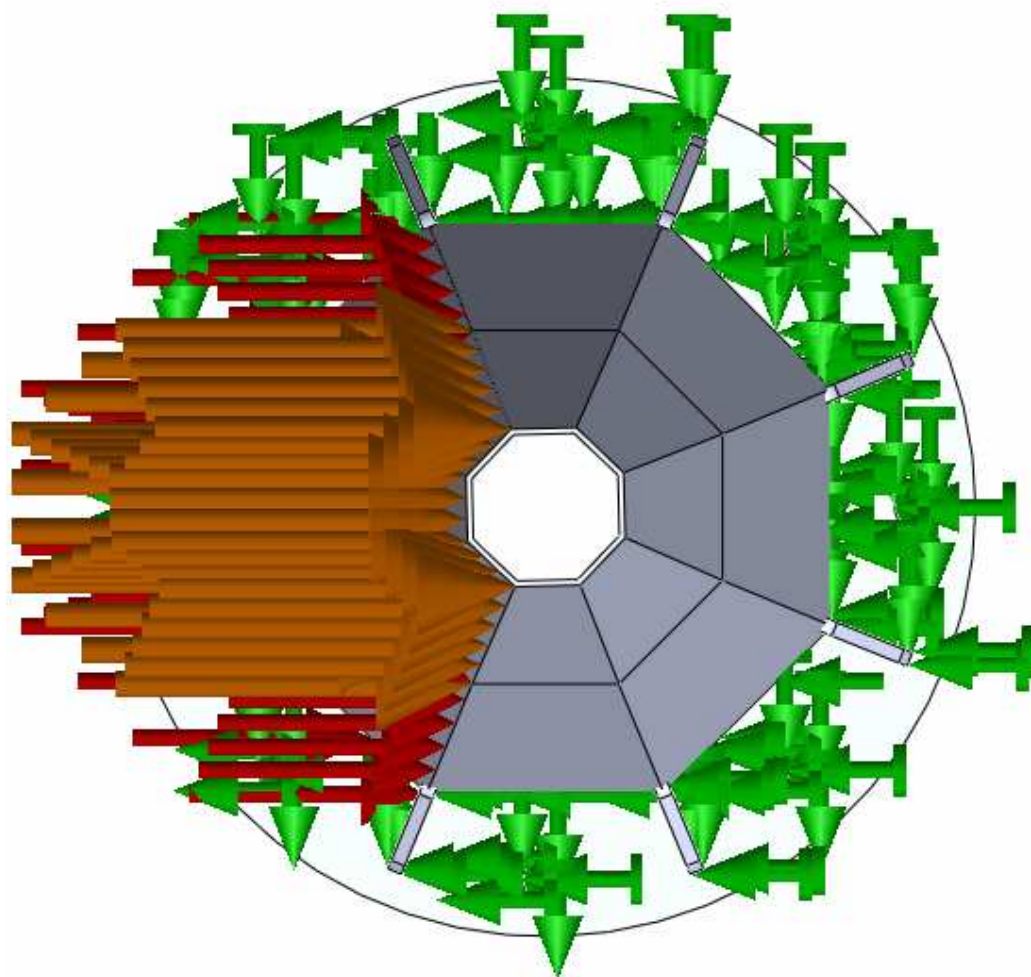
5.2 pav. BEM tinklas ant atramos programos Cosmosworks 2008 lange



5.3 pav. Įtvirtintos 8 metrų aukščio atramos fragmentas

Bendrieji nuostatai taikomi analizuojant abi atramas:

- Apkrovos pridedamos paviršinio slėgio pavidalu, kuris nustatytas ketvirtame darbo skyriuje;
- Laikoma, kad atrama su padu sujungta standžiai.
- Įrangos (kopėčių, laidų, šviestuvų) svoris pridedamas automatiškai paskirstytas visai atramai. Įrangos aprašymas pateiktas pirmame darbo skyriuje. Įrangos masės duomenys pateikti ketvirtame darbo skyriuje;
- Abi atramos analizuojamos labiausiai apkrautos t.y. su sumontuota sunkiausia įranga;
- Vėjo kryptis pati nepalankiausia t.y. pučia statmenai (parodyta 5.4 pav.) į atramą ir tiesiogiai veikia tris aštuoniabriaunio skerspjūvio atramos briaunas, kurios perduoda apkrovas kitoms briaunoms;
- Atramos pirmiausia nagrinėjamos trečiame Lietuvos vėjo rajone, nes ten galimas maksimalus vėjo greitis ir atramas veikia didžiausios apkrovos.
- Jei trečiame vėjo rajone svarbiausi parametrai tenkinami, laikoma, kad atrama tinkama statyti visuose Lietuvos vėjo rajonuose ir visų tipų vietovėse.



5.4 pav. Įtvirtinta ir apkrauta 15 m aukščio atrama, vaizdas iš viršaus

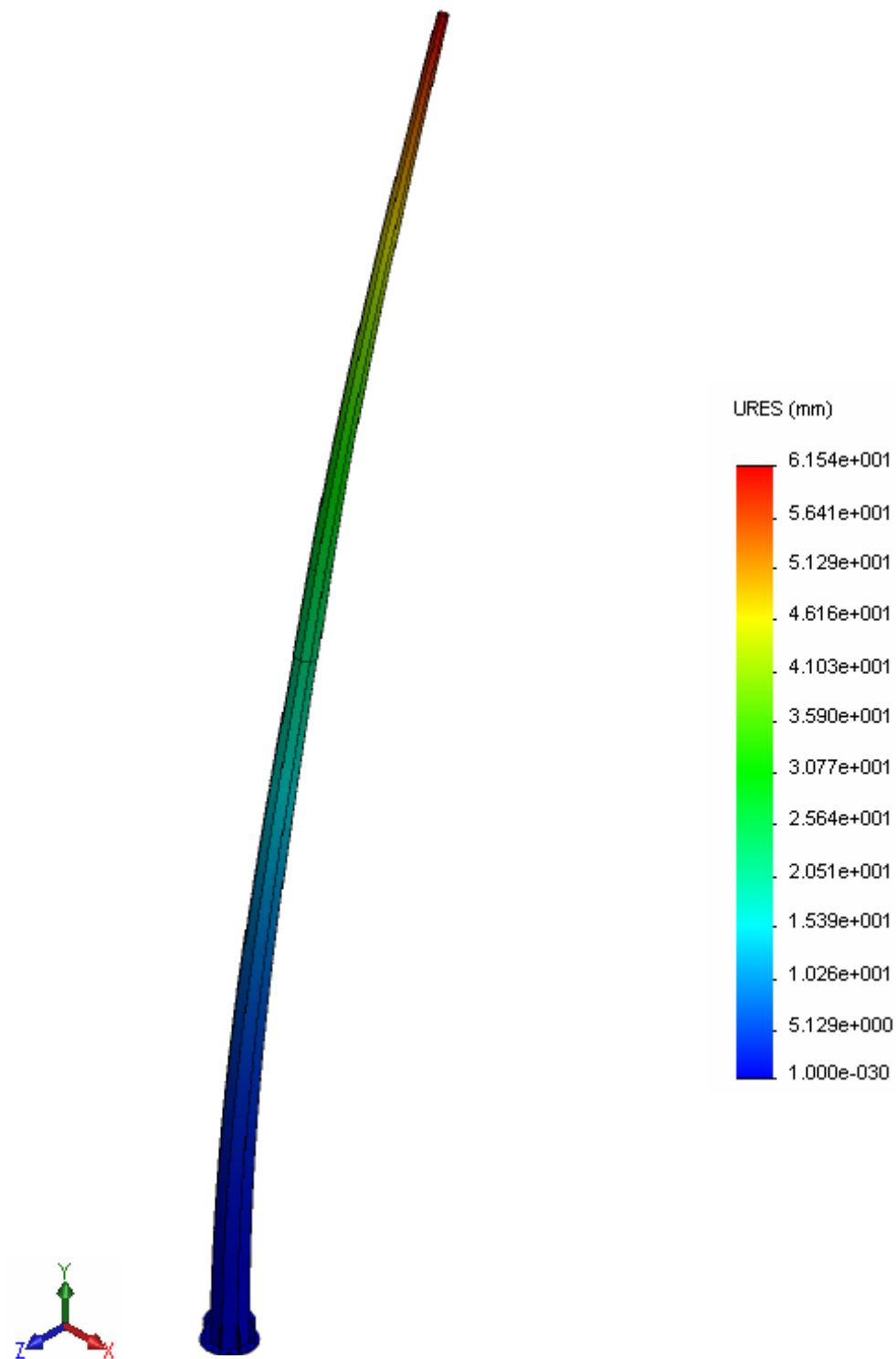
5.2 15 m atramos analizės rezultatai

Analizės metu 15 metrų aukščio atramai buvo sudarytas BEM tinklas, kurį sudaro apie 95000 elementų sujungtų į 190000 mazgų. Tai leido apytiksliai nustatyti vėjo statinio slėgio įtaką svarbiausiems stiprumo parametrams (šiuo atveju linijiniam poslinkiui, įtempimams). Studijos metu gauti rezultatai leido užfiksuoti kelias būdingas zonas, kuriose yra pavojingiausi parametrai: didžiausias įtempimas, didžiausias linijinis poslinkis horizontaliaja kryptimi, didžiausioji deviacija.

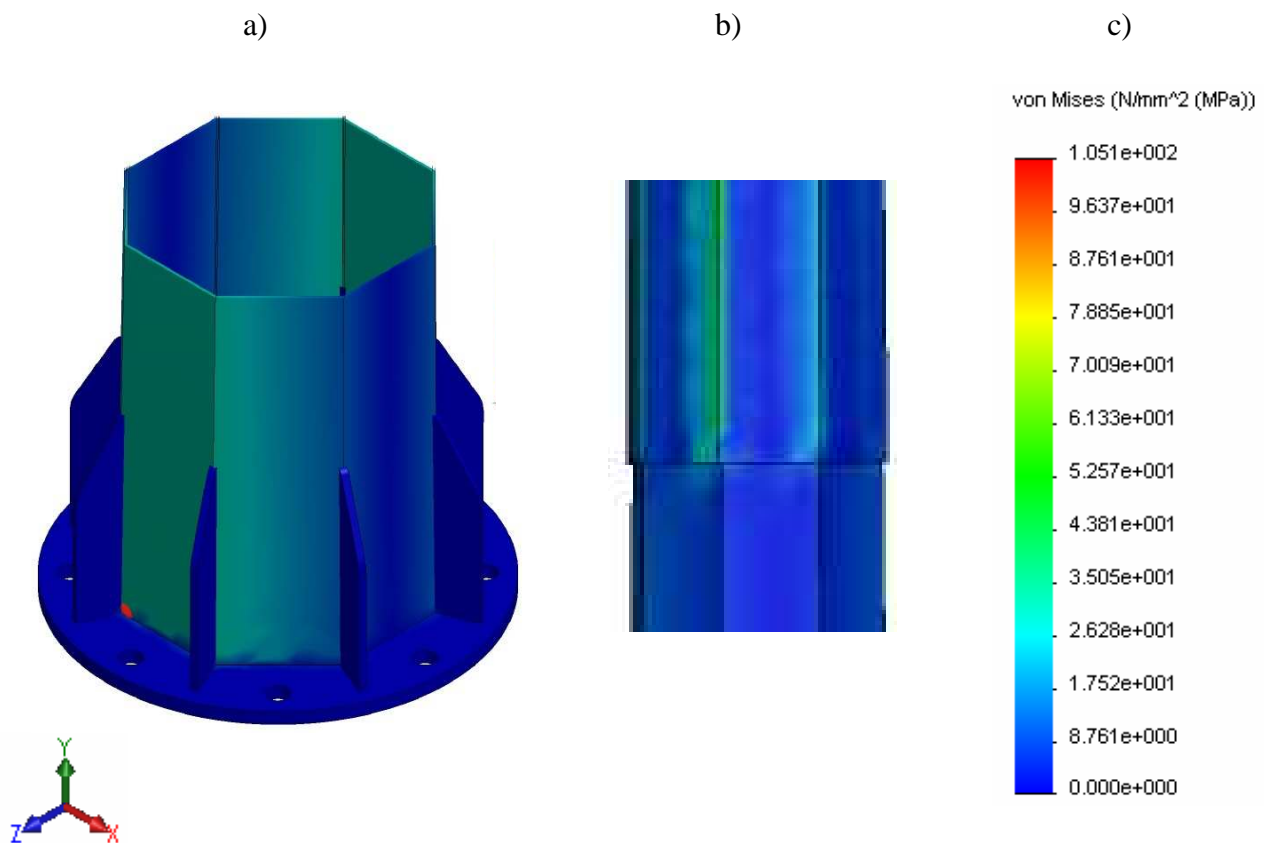
Atramos studijos metu pastebėta, kad didžiausias krūvis tenka atramos detalių tarpusavio sujungimo zonoms. Labai svarbu užtikrinti tinkamą visų detalės atramų tarpusavio sujungimą.

- Didžiausieji normuojami svarbiausieji įtempimai 105 MPa yra ties atraminės plokštės ir standumo briaunų sujungimo zona bei atraminės plokštės ir atramos apatinės dalies sujungimo zona.
- Įtempimų nedidelė koncentracija pastebėta atramos kamieno dalių sujungimo vietoje beveik ties atramos viduriu bei apatiniame mazge tarp sąstandų. Įtempimų iliustracijos ir rezultatų skalės pateiktos 5.6 pav.
- Didžiausias linijinis poslinkis pastebėtas atramos pačiame viršuje (15 m aukštyje), kur atramos skerspjūvis pats mažiausias (110 mm). Jis sudaro 61,5 mm. Poslinkių iliustracija ir rezultatų skalė parodyta 5.5 pav.

Svarbiausieji skaičiavimo rezultatai pateikti 5.1 lentelėje.



5.5 pav. Linijinių poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė



5.6 pav. Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingose vietose: a) Atraminis mazgas; b) pirmosios ir antrosios stovo dalies jungtis; c) Svarbiausiųjų įtempimų skalė (MPa)

Didžiausių vietinių įtempimų ir linijinių poslinkių atramos viršuje atsargos šiame darbe apskaičiuojamos pagal sekančias formules [8].

Linijinio poslinkio atsarga apskaičiuota pagal (5.1) formulę. Didžiausio leistino linijinio poslinkio reikšmė pagal projektavimo normas 15 metrų aukščio atramai sudaro – 150 mm.

$$f_{ats} = \frac{f_{adm} - f_{sk}}{f_{adm}} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

čia f_{adm} - didžiausio leistino linijinio poslinkio reikšmė;

f_{sk} - apskaičiuota linijinio poslinkio reikšmė.

Tokiu pat principu apskaičiuota didžiausių vietinių įtempimų atsarga pagal 5.2 formulę

$$\sigma_{ats} = \frac{\sigma_{adm} - \sigma_{sk}}{\sigma_{adm}} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

čia σ_{adm} - didžiausio leistino įtempimo reikšmė;

σ_{sk} - apskaičiuota įtempimo reikšmė.

Ribiniu įtempimu laikomas padaugintas iš konstrukcinio elemento patikimumo koeficiento 0,9 skaičiuojamasis stipris, tai plienui CR2 DC01AM pagal EN 10204 – 240 MPa.

5.1 lentelė

15 m atramos skaičiavimo rezultatai (3 vėjo rajonui)

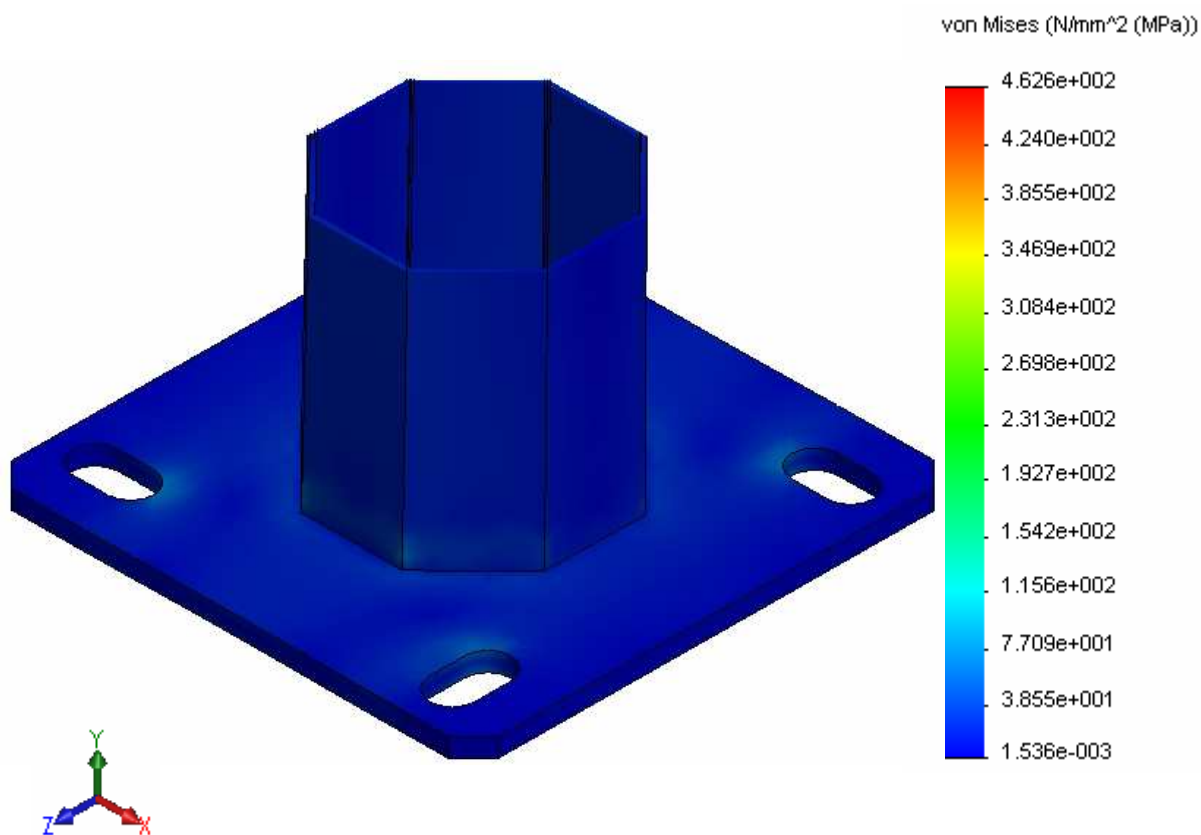
Mechaninio būvio parametrai	Mato vienetai	Skaičiavimo rezultatas	Atsarga, %
Didžiausias vietinis įtempimas (apatinė kamieno dalis)	MPa	105	50,4
Didžiausias vietinis įtempimas (viršutinė kamieno dalis)	MPa	78	60,8
Didžiausias linijinis poslinkis atramos viršuje	mm	61,5	59
Didžiausioji deviacija atramos viršuje	laipsn.	0,2	Nereik.

Po atliktų 15 metrų aukščio (400x110 mm) atramos studijų pagal trečią Lietuvos vėjo rajono duomenis pastebėta, kad ji gerai atlaiko statines apkrovas, todėl puikiai tiks statyti visuose Lietuvos vietovėse.

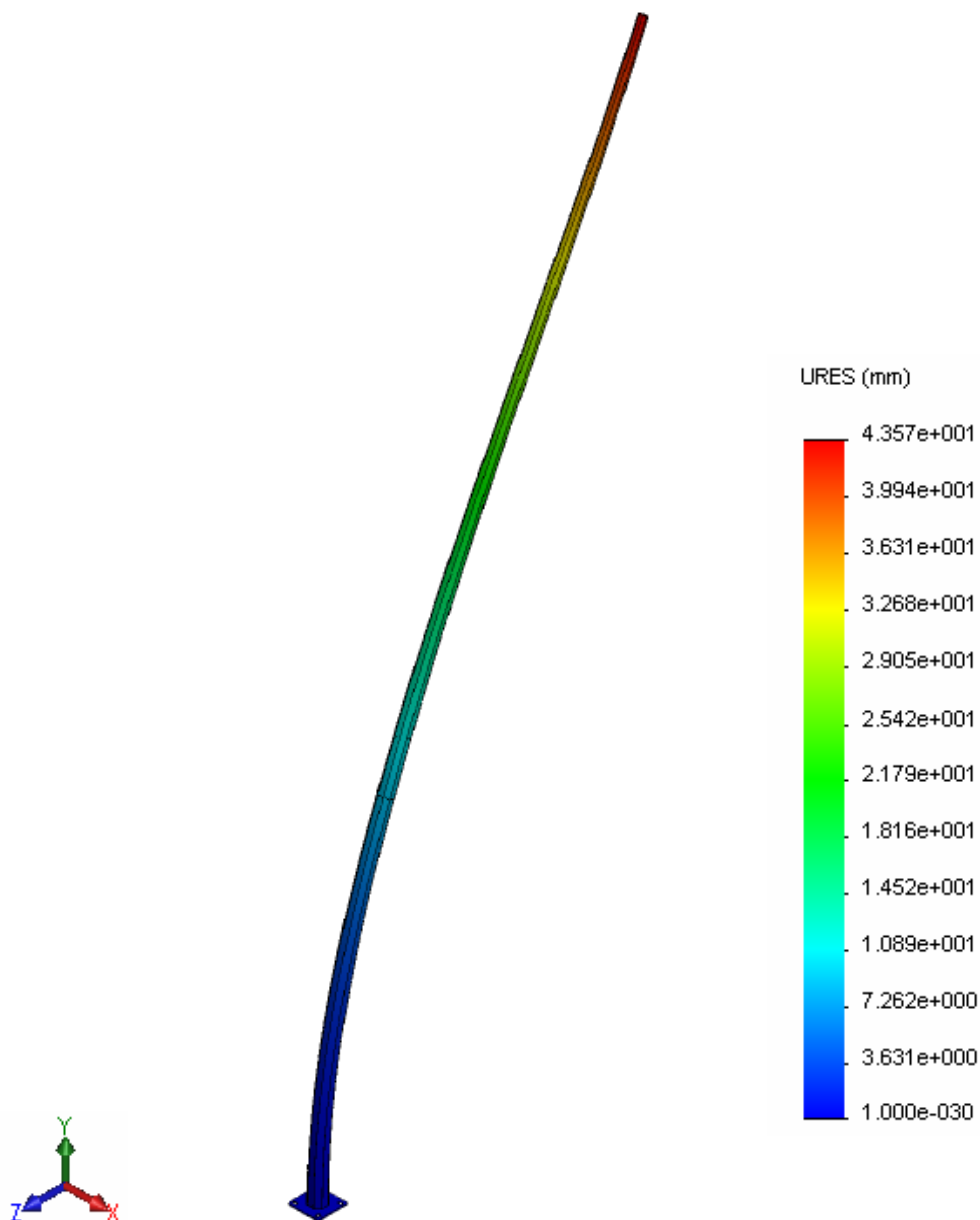
5.3 8 m atramos analizės rezultatai

Kitokio tipo atramos buvo analizuojamos pagal tą pačią metodiką. Analizuojant 8 metrų aukščio atramas buvo sudarytas BEM tinklas, kurį sudaro apie 83000 elementų sujungtų į 165000 mazgų. Svarbiausieji skaičiavimo rezultatai pateikti 5.2 lentelėje. Didžiausių įtempimų ir linijinio poslinkio atsargos suskaičiuotos pagal 5.1 ir 5.2 formules.

- Didžiausieji normuojami svarbiausieji įtempimai 29 MPa pastebėti ties atraminės plokštės ir stovo apatinės dalies sandūra, taip pat tie apatinės stovo dalies lenkimo vietomis bei šalia atramos pado tvirtinimo taškų. Taip atsitinka dėl to, kad šiai atramai nenumatytos sąstandos.
- Įtempimų nedidelė koncentracija pastebėta atramos dalų sandūrų vietose bei apatiniame mazge. Įtempimų iliustracija ir rezultatų skalė parodyta 5.7 pav.
- Didžiausias linijinis poslinkis pastebėtas atramos pačiame viršuje (8 m aukštyje), kur atramos skerspjūvis pats mažiausias (68 mm). Jis sudaro 61,5 mm. Poslinkių iliustracija ir rezultatų skalė parodyta 5.8 pav.



5.7 pav. Įtempimų pasiskirstymas atramos pavojingose vietos ir įtempimų skalė (MPa)



5.8 pav. Poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė

5.2 lentelė

8 m atramos skaičiavimo rezultatai (3 vėjo rajonui)

Mechaninio būvio parametrai	Mato vienetai	Skaičiavimo rezultatas	Atsarga, %
Didžiausias vietinis įtempimas (apatinė kamieno dalis)	MPa	120	45
Didžiausias vietinis įtempimas (viršutinė kamieno dalis)	MPa	38	75,8
Didžiausias linijinis poslinkis atramos viršuje	mm	44	45
Didžiausioji deviacija atramos viršuje	laipsn.	0,1	Nereik.

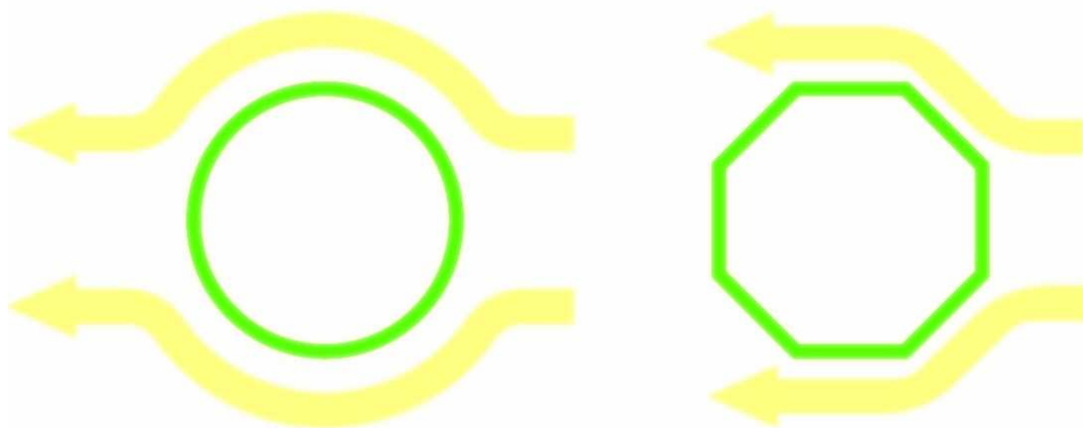
Po atliktų 8 metrų aukščio (150x68 mm) atramos studijų pagal trečią Lietuvos vėjo rajono duomenis pastebėta, kad ji gerai atlaiko statines apkrovas, todėl puikiai tiks statyti visuose Lietuvos vietovėse.

5.4 8 m atramos su apvaliu skerspjūviu linijinio poslinkio analizė

Nesunku pastebėti, kad prieš keletą dešimčių metų apšvietimo plieninės atramos buvo gaminamos tik cilindro formos (apvalios skerspjūvio formos). Dažniausiai virinamos iš vamzdžių. Dabartinais laikais patobulėjus technologiniams įrengimams vis dažniau atsisakoma apvalių atramų, kadangi per pastaruosius metus smarkiai pabrango žaliavos. Šiuo metu populiariu pirkti žaliavas (lakštiniį plieną ir pan.) iš jų gaminti ruošinius tokiu būdu atsisakant brangių vamzdžių ar profilių pirkimo. Taip gaminant atramas reikia atlikti žymiai daugiau operacijų (kirtimas, lenkimas, suvirinimas, galvaninis padengimas ir pan.), tačiau bendra jų sąmata dideliame gaminių kiekiui gaunama mažesnė.

Aplink apskritą objektą vėjas teka sklandžiai sukurdamas mažiau turbulencijų. Tokiu atveju apvalų paviršių veikia trinties jėgos, kurios skaičiuojant daugiakampio skerspjūvio bokštus neįvertinamos dėl mažo jėgų veikimo ploto.

Kadangi apvalias ir kampuotas konstrukcijas vėjo slėgis veikia skirtingai galima panagrinėti skirtumus tarp skirtingų skerspjūvio formų, tačiau panašių matmenų apšvietimo atramų. Tokiam tikslui buvo sumodeliuota apvalaus siaurėjančio į viršų skerspjūvio atrama, kurios didžiausias išorinis skersmuo – 150 mm, mažiausias – 68 mm, aukštis – 8000 mm, sienelės storis – 3 mm. Akivaizdu, kad matmenys labai panašūs į prieš tai nagrinėtos 8 metrų aukščio atramos.

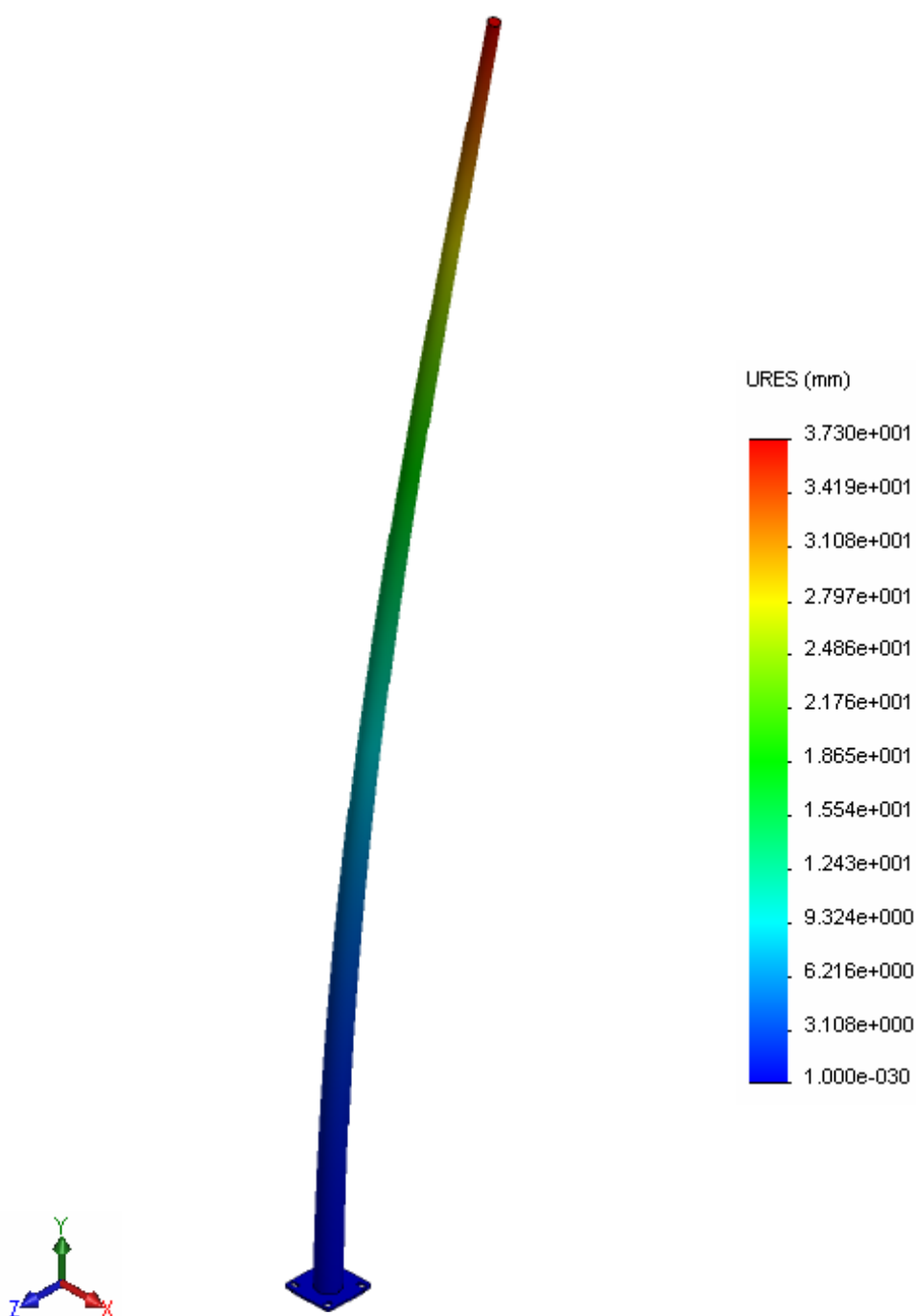


5.9 pav. Išorinio vėjo slėgio pasiskirstymas skirtinguose skerspjūviuose

Apvalaus skerspjūvio formos atrama buvo analizuojama identiškais sąlygomis kaip ir prieš tai analizuota 8 m atrama, tam, kad būtų galima sugretinti gautus rezultatus. Analizuotas tik didžiausias linijinis horizontalus konstrukcijos poslinkis.

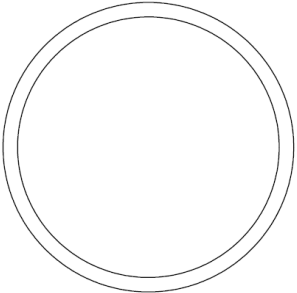
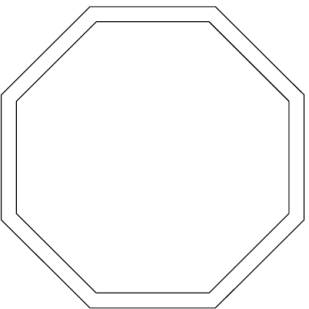
Po BEM studijos palyginti rezultatai (5.8 pav.) ir gauta kad, apvalaus skerspjūvio atramos didžiausias linijinis horizontalus poslinkis yra 16 procentų mažesnis už analogiškų matmenų daugiakampio skerspjūvio atramos poslinkį ir beveik 54 procentais mažesnis užribinį. Tikėtina, kad didesnėms ir ženkliau apkrautoms atramoms šis skaičius gali pastebimai išaugti.

Palyginimo rezultatai pateikti 5.3 lentelėje



5.10 pav. Poslinkių iliustracija (vaizdas padidintu masteliu) ir rezultatų skalė

8 m atramų poslinkių palyginimas

Skerspjūvio formos iliustracija	Didžiausias horizontalus linijinis poslinkis	Skirtumas
 A diagram showing a circular cross-section of a pipe or tube, represented by two concentric circles.	37 mm	7 mm / 16%
 A diagram showing an octagonal cross-section of a pipe or tube, represented by two concentric octagons.	44 mm	

6. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Analizuojant atramas baigtinių elementų metodu buvo nagrinėjama vėjo statinio slėgio su pulsacine dedamąja įtaka horizontaliesiems linijiniams poslinkiams, bei įtempimams. Tam buvo atlikta apie 50 įvairių skaitmeninių bandymų, panaudojant keletą baigtinių elementų programinių paketų. Galutinai apsisistota ties Cosmosworks 2008 programa. Darbui buvo naudojama tik šiuolaikinė kompiuterinė įranga su „Intel“ dviejų barnduolių procesoriais.

Pagal gautus skaičiavimų ir analizės rezultatus galima padaryti sekančias išvadas

6.1 Skaičiavimų išvados

1. Skaitmeninė įtempimų analizė baigtinių elementų metodu trečiajam Lietuvos vėjo rajonui parodė, kad abiejų nagrinėtų atramų didžiausi vietiniai įtempimai pagal EN 10204 ir GOST 27772-88 neviršija leistinųjų. Pagal BEM rezultatus apskaičiuotos atsargos siekia 50,4 procentus (15 m atramai) ir 45 procentus (8 m atramai);
2. Analizuojant poslinkius skaitmeniniu būdu gauta, kad didžiausias konstrukcijos linijinis horizontalusis poslinkis, veikiant statinei vėjo apkrovai su pulsacine dedamąja – 61,5 mm (15 m atramai) apskaičiuota atsarga – 59 procentai ir 44 mm (8 m atramai) apskaičiuota atsarga sudaro 45 procentus;
3. Darbe pagal dabar galiojančias projektavimo normas apšvietimo ir komunikacijų atramoms buvo nustatytas statinis vėjo slėgis pagal Lietuvos vėjo rajonus, kuris atramas veikia skirtingai priklausomai nuo aukščio ir skerspjūvio ploto, sukeldamas linijinius poslinkius, įtempimus ir deformacijas atramose ir jų laikančiuose elementuose. Gautos reikšmės panaudotos atramų analizei baigtinių elementų metodu. Buvo nagrinėjama vėjo statinio slėgio su pulsacine dedamąja, įtaka skirtingų skerspjūvių 15 ir 8 metrų aukščio apšvietimo atramų horizontaliesiems linijiniams poslinkiams, bei įtempimams. Gauti rezultatai su gana nemažomis apkrovomis, kurios nurodytos pirmame ir antrame punktuose. Todėl remiantis darbe gautais rezultatais, ankstesniais panašių atramų tyrimo rezultatais bei šiuo metu Lietuvoje galiojančiomis projektavimo normomis (STR 2.05.04:2003 ir LST EN 1991-1-4:2005) išanalizuotas atramas leidžiama statyti visoje Lietuvos teritorijoje.

6.2 Reikalavimai gamybai

Sekantys reikalavimai sudaryti atsižvelgiant į ankstesnius panašių atramų skaičiavimus, darbe atliktos analizės rezultatus bei šiuo metu galiojančias projektavimo normas.

1. Jungiant atramos dalis, reikia užtikrinti idealiai standžias sandūras;
2. Užtikrinti atramos suvirinamųjų dalių glaudų kontaktą prieš jas suvirinant;
3. Tikrinti virintinių siūlių kokybę pagal galiojančias projektavimo normas;
4. Virinant sąstandas, nepažeisti atramos sienutės, ypač briaunos viršutinio kampo srityje;
5. Būtinai užaklinti 8 metrų atramos viršutinės dalies galą. Tai ženkliai sumažina viršūnės įtempimus;
6. Atramas reikia cinkuoti gamykloje arba galima kruopščiai nuvalyti, nugruntuoti bei dažyti antikoroziniais dažais.

6.3 Reikalavimai montavimo darbams

Sekantys reikalavimai sudaryti atsižvelgiant į ankstesnius panašių atramų skaičiavimus, darbe atliktos analizės rezultatus bei šiuo metu galiojančias projektavimo normas.

1. Montuoti, esant palankiomis oro sąlygomis (esant nestipriam vėjui);
2. Transportuojant bei montuojant neleisti atramai tiek bendrai išsikreivinti, tiek lokaliai išsikraipyti;
3. Montuojant, užtikrinti pamato ir atramos glaudžią sandūrą;
4. Montuojant tikrinti, o sumontavus projektinėje padėtyje užtikrinti atramos vertikalią padėtį.

6.4 Rekomendacijos konstrukcijos tobulinimui

Rekomendacijos konstrukcijos tobulinimui sudarytos įvertinamt šiame darbe atliktos analizės rezultatus bei remiantis panašių atramų analizės rezultatais.

1. Remdamasis padaryta linijinių poslinkių bei įtempimų skaitmenine analize rekomenduoju išanalizuoti galimybę leisti eksploatuoti konstrukciją su didesniais įlinkiais nei numatyta projektavimo normose arba taikyti esamus įlinkių apribojimus tik statinei vėjo apkrovos dedamajai (leisti labiau deformuotis, kai atsižvelgiama į pulsacinę dedamąją);
2. Siūlau parengti alternatyvias atramų serijas pritaikytas atskirai kiekvienam Lietuvos teritorijos vėjo rajonui bei vietai, siekiant efektyviau panaudoti konstrukcijos medžiagas. Kadangi gautos atsargos yra gana didelės;
3. Remdamasis padaryta skirtingų skerspjūvių 8 metrų aukščio atramų linijinių poslinkių skaitmenine analize BEM, siūlau gaminti apvalios arba daugiakampės artimos apvaliai formos kamieną. Tokiu būdu dar labiau sumažinant vėjo apkrovos poveikį konstrukcijai.

7. LITERATŪRA

1. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004, 103 p.
2. LST EN 1991-1-4:2005. Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis. Bendrieji poveikiai. Vėjo poveikiai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas.
3. STR 2.05.04:2003. 13 priedas Praktinio taikymo vadovas Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
4. UAB „IN RE“ 24 ir 18 m Komunikacijų ryšio atramų skaičiavimai ir analizė. Vilnius 2004.
5. Kurowski Paul M. Ph.D., P.Eng. Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional 2006.
6. Šniuolis R. BEM pagrindai. Šiauliai.
7. Bareišis J. Konstrukcinių elementų atsparumas: Vadovėlis. Šiauliai: VšĮ Šiaulių universiteto leidykla, 2003.
8. Holmes John D. Wind loading of structures. New York, NY, Spon press, 2003
9. Braess D. Finite elements. Theory, Fast Solvers, and Applications in Elasticity Theory Cambridge University press, New York 2007.
10. СНиП 2.01.07-85* Пересмотр (актуализация), Нагрузки и воздействия». Общие положения. Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, Москва 2007, 23-31.
11. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1985, 34 p.
12. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП 11-23-81*). Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989, 148 p.
13. Vasiliauskas K. Medžiagų atsparumas. Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, Vilnius 1959.
14. Popov, E. P. Mechanics of Materials. SI Version. 2nd ed. London:McGraw-Hill Book Company, 1978. 590 p.
15. Kurowski Paul M. Ph.D., P.Eng. Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional 2006. Schroff Development Corporation

16. Brass WDT. Pole analysis system. User manual. Wyoming Department of Transportation. 2006.
17. Sluckuvienė Z. Taikomoji mechanika laboratorinių darbų atlikimo metodiniai nurodymai
18. Dragūnas B., Pilkauskas K., Stasiūnas A., Stasiūnas R. Inžinieriaus mechaniko žinynas. Vilnius: Mokslas, 1988.
19. <http://www.elga.lt/> - AB „Elga“.
20. <http://www.3dcad.lt>. - programinės įrangos Solidworks ir CosmosWorks atstovai Lietuvoje.
21. <http://www.solidworks.com> - programinės įrangos Solidworks ir CosmosWorks gamintojai.
22. <http://www.mdsolids.com/> - programinės įrangos MDSolids gamintojas ir platintojas.
23. <http://www.rohnproducts.com/frontpage.htm> - panašių atramų gamintojas.
24. <http://dot.state.wy.us/> - Vajomingo valstijos (JAV) transporto departamentas.
25. <http://www.malsta.lt/lt/catalog?pid=1> - AB „Malsta“.
26. www.scadsoft.com - įvairios inžinerinės programinės įrangos gamintojas ir platintojas.