

LR APLINKOS MINISTERIJA
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

**APKROVŲ IR POVEIKIŲ SKAIČIAVIMO
PAGAL DARNIUOSIUS EUROPOS
STANDARTUS, PERIMTUS LIETUVOS
STANDARTAIS, PRAKTINIO
NAUDOJIMO VADOVAS**

**I dalis. Pastoviųjų ir kintamųjų apkrovų
sudarymo principai ir parinkimas**

VYKDYTOJŲ SĄRAŠAS

1. Prof. habil. dr. G. Marčiukaitis
2. doc. dr. J. Amšiejus
3. doc. dr. B. Jonaitis
4. prof. dr. A. Norkus
5. doc. dr. B. Užpolevičius
6. prof. dr. J. Valivonis

TURINYS

Įvadas	5
1. Apkrovų ir poveikių statiniams parinkimo bendrieji pagrindai	6
1.1. Bendrieji principai.....	6
1.2. Skaičiuotinės situacijos atsparumo ir poveikių efekto skaičiuotinės reikšmės.....	11
1.3. Charakteristinės bei kitos reprezentacinės reikšmės.....	13
1.4. Poveikio efekto skaičiuotinė reikšmė	20
2. Pastatų savojo svorio ir naudojimo apkrovos	23
2.1. Bendrieji principai ir taisyklės	23
2.2. Poveikių klasifikacija ir projektinės situacijos.....	23
2.3. Medžiagų tankiai.....	24
2.4. Statinio elementų savasis svoris.....	25
3. Statinių naudojimo apkrovos	25
3.1. Apkrovimo plotų ir atvejų klasifikavimas	25
3.2. Apkrovimo atvejai.....	26
3.3. Charakteristinės naudojimo apkrovų reikšmės	28
3.4. Apkrovos nuo judančių pertvarų.....	30
3.5. Daugiaaukščio pastato konstrukcijų apkrovimo atvejai.....	33
4. Sniego apkrovos.....	35
4.1. Sniego apkrovos parinkimas	35
4.2. Stogo formos įvertinimas.....	37
4.3. Stogo formos koeficientai skirtingo aukščio pastatams.....	40
4.4. Vietinių iškyšų ir kitų efektų stoguose įvertinimas.....	42
4.5. Apledėjimo apkrovos	43
5. Vėjo apkrovos	46
5.1. Bendrieji nurodymai	46
5.2. Vėjo greitis ir vėjo slėgis	47

5.3. Vėjo slėgis nustatant konstrukcijos kvazi-statinį atsaką	52
5.4. Vėjo sukeltos jėgos nustatymas	54
5.5. Pavyzdžiai	57
6. Apkrovų ir įrašų pastatams apskaičiavimo pavyzdžiai	78
6.1. Visuomeninis pastatas	78
6.2. Pramoninis gelžbetoninis pastatas	90
6.2.1. Gelžbetoninė stogo plokštė	96
6.3. Plieninis pastatas	100
6.4. Pastatas su kompozitinėmis konstrukcijomis	111

IVADAS

Šios vadovo dalies tikslas yra paaiškinti pastoviųjų ir kintamųjų apkrovų sudarymo principus, remiantis Europos darniaisiais standartų principais ir jų panaudojimą priimant konkrečias atitinkamas jų reikšmes ir derinius bei atliekant praktinius skaičiavimus projektuojant.

Tuo tikslu šioje vadovo dalyje yra pateikti savojo svorio ir naudojimo apkrovų reikšmių parinkimo ir skaičiavimo pagal LST EN 1991–1–1 principai, skaitiniai pavyzdžiai ir jų sprendimas. Duodamos apkrovų reikšmės, kai kurios lentelės.

Pateikiamas sniego apkrovų zonų parinkimo pagrindimas, duodami jų reikšmių ir skaičiavimų pagal LST EN 1991–1–3:2004 skaitiniai pavyzdžiai ir jų sprendimai. Pateikiami apledėjimo įvertinimo principai.

Nurodomos vėjo apkrovų parinkimo zonos ir duodamos jų reikšmės, pateikiami skaičiavimo (pagal LST EN 1991–1–3:2006) schemų pavyzdžiai ir skaitiniai sprendimai.

Yra pateikti nurodymai, kaip parinkti apkrovas, kurių reikšmės standartuose nurodytos tam tikrose ribose.

Gilesniam apkrovų parinkimo ir jų panaudojimo pastatų konstrukcijų skaičiavimuose išaiškinimui yra pateikiami pastatų ir jų gelžbetoninių, plieninių ir kompozitinių konstrukcijų visų apkrovų ir jų derinių parinkimo, nustatymo ir apskaičiavimo pavyzdžiai.

1. APKROVŲ IR POVEIKIŲ STATINIAMS PARINKIMO BENDRIEJI PAGRINDAI

1.1. Bendrieji principai

Visi projektavimui skirti standartai yra grindžiami konstrukcinių elementų ribinio būvio tikimybės užtikrinimu per numatytą eksploatacijos laikotarpį. Elemento atsparumo atsarga $z = R - E$ (čia R – atsparumas, pvz., stiprumas, standumas, pleišėtumas, E – poveikių efektas, pvz., įraža). Šie dydžiai normuoti $P_A = \phi(\beta_A)$ patikimumo (čia $\phi(\)$ – Laplaso-Gauso funkcija, β_A – patikimumo indeksas). Tai gali būti ir dydis $\alpha_A = 1 - P_A$, užtikrinant ribinio būvio tikimybę per numatytą eksploatacijos laikotarpį.

Projektuojant patikimumo indekso β_A (arba atitinkamos α_A ar P_A) reikšmės užtikrinamos apskaičiuojant A parametras, pvz., elemento skerspjūvio plotą.

Priimtinos, arba normuotos, P_A arba α_A reikšmės normuojamos ir užtikrinamos ne tiesiogiai, t. y. taikant tikimybinį skaičiavimą, o netiesiogiai, taikant dalinius patikimumo koeficientus, pvz., medžiagų stipriui, nustatant charakteristines ir skaičiuotines reikšmes apkrovoms, jų deriniui, statinio paskirčiai. Dėl šios priežasties normos vadinamos skaičiuotinių reikšmių (SR) normomis, kurios yra grindžiamos dalinių koeficientų (DK) metodu. Charakteristinės reikšmės, daliniai koeficientai ir skaičiuotinės reikšmės normuojami priklausomai nuo normose siekiamų α_A arba P_A reikšmių. Normuojamos α_A arba P_A reikšmės gali būti užtikrinamos skirtingais dalinių patikimumo koeficientų deriniais.

Šiuolaikinės projektavimo normos, jų tarpe ir Euronormos, daugiausia yra grindžiamos tomis α_A reikšmėmis, kurios istoriškai susidarė per daugelio dešimtmečių normų tobulinimą, koreguojant skaičiuotines reikšmes ir atsižvelgiant į normų taikymo praktiką bei sukauptuosius ribinių būvių dažnio ir patiriamų nuostolių jiems įvykus, statistinius duomenis.

Statinių ir konstrukcijų normuoto patikimumo užtikrinimas yra grindžiamas elemento ribinio būvio lokalumo prielaida. Ši, prielaida reiškia, kad elemento ribinis būvis nesukelia nepalyginamai didesnių pasekmių (socialinių, pvz., žmonių žūčių, ekonominių, pvz., konstrukcijų, turto sunaikinimo, patalpų eksploatacijos nutraukimo) visame statinyje ar statinio dalyje, lyginant su pasekmėmis, patiriamomis įvykus pavienio elemento ribiniam būviui. Ribinio būvio lokalumo prielaida realizuojama projektavimu užtikrinant statinio laikančiųjų konstrukcijų tokį bendrąjį stabilumą, kuris negalėtų būti pažeistas įvykus atskiro elemento ribiniam būviui.

Kita svarbi normų prielaida yra žmogaus klaidų tinkamos kontrolės ir prevencijos sąlygų užtikrinimas visame statinio kūrimo ir eksploatacijos procese. Ši prielaida yra grindžiama

projektavimo, statybos ar gamybos, eksploatacijos proceso kokybės kontrolės ir prevencijos sąlygų reglamentavimu.

Suminė ribinių būvių tikimybė išreiškiama

$$\alpha = \alpha_A + \alpha_z. \quad (1.1)$$

Čia α_A – konstrukcijos ribinių būvių tikimybė; α_z – ribinio būvio tikimybė, kurios priežastimi yra paminėtos žmogaus klaidos. Be to, yra nustatyta, kad

$$\alpha \approx 10\alpha_A, \quad (1.2)$$

t. y. ribinių būvių tikimybė visų pirma priklauso nuo žmogaus klaidų ir ji apytiksliai 10 kartų didesnė nei ribinių būvių tikimybė, kuri yra valdoma skaičiavimais pagal normas, o tuo pačiu ir normų daliniais patikimumo koeficientais.

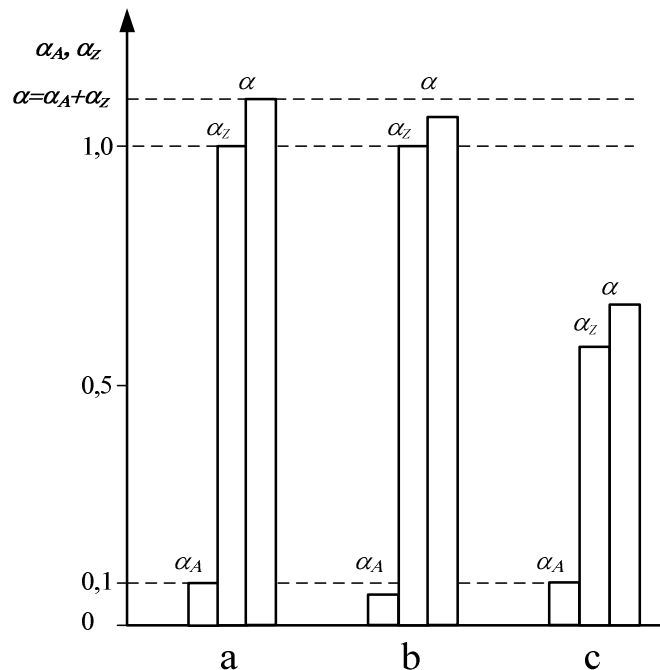
Žmogaus klaidų vidutinis dažnis, nustatytas remiantis įvairių Europos šalių autorių gautais duomenimis, o taip pat Lietuvos Aplinkos ministerijos Statybos inspekcijos per 4 dešimtmečius sukauptais duomenimis, pateikiamas 1 lentelėje.

1 lentelė. Žmogaus klaidų vidutinis dažnis

Eil. Nr.	Statinio kūrimo proceso sritis, kurioje įvyko klaida	Dažnis, įvairiose Europos šalyse, %	Dažnis, Lietuvoje, %
1	Projektavimas	25	7
2	Elementų gamyba ir statyba	45	63
3	Eksploatacija	8	7
4	Išorės veiksniai (pvz., netolygūs ir dideli pagrindų nuosėdžiai ir nuošliaužos, elementų perkrovos)	15	23
5	Kitos klaidos	7	

(1.1) ir (1.2) išraiškos grafiškai vaizduojamos 1 pav. Kaip matyti iš paveikslo, didinant dalinius patikimumo koeficientus, kas yra susiję su skerspjūvio ploto A didinimu, 10 %, α_A įprastiems elementams sumažėja vidutiniškai 30 % ir, α_z reikšmei išlikus nepakitusiai (nes α_z praktiškai nepriklauso nuo α_A , o priklauso nuo žmogaus klaidų kontrolės ir prevencijos priemonių taikymo), α ribinių būvių tikimybės suma pagal (1.1) sumažėja tikrai 3 %, t. y. α išlieka praktiškai nepakitusi (1 pav., b). Daug efektyvesnis alternatyvus α ribinių būvių tikimybės pagal (1.1) sumos mažinimo būdas – sumažinant α_z reikšmę. Yra nustatyta, kad jeigu tokios pačios aptartos lėšos,

skiriamos A rodikliui (arba daliniams patikimumo koeficientams) padidinti 10 % (žr. 1 pav., b), yra panaudojamos α_z sumažinti, pvz., sugriežtinant žmogaus klaidų kontrolę ir prevenciją visuose statinio kūrimo ir eksploatavimo etapuose, tai α_z reikšmė sumažėja apie 40 %. Dėl to taikant alternatyvų būdą α ribinių būvių tikimybės suma sumažėja apie 30 %, arba apie 10 kartų daugiau nei mažinant α_A rodiklį, t. y. didinant skerspjūvio plotą arba dalinius patikimumo koeficientus (žr. 1 pav., b ir c).



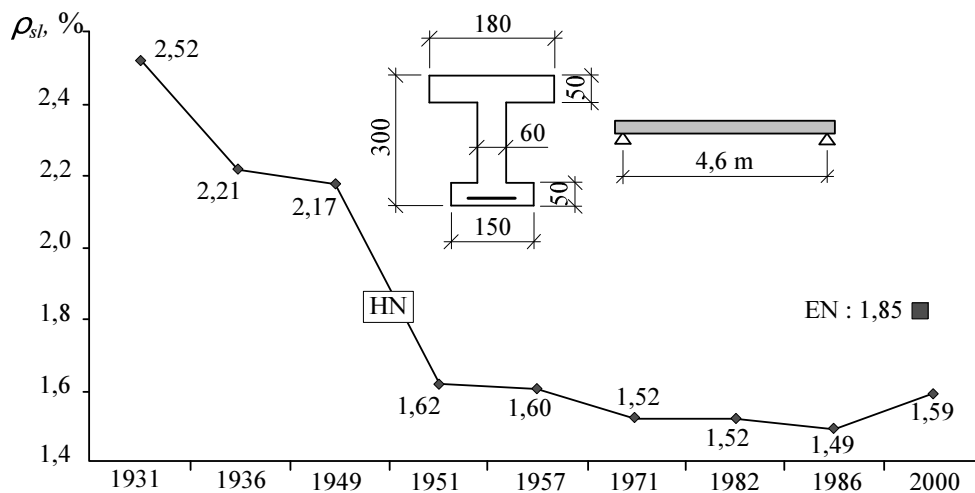
1 pav. Ribinių būvių tikimybės dėmenys: α_A ir α_z – priklausantieji nuo statybinių medžiagų sąnaudų, pvz., nuo elemento skerspjūvio ploto A ir nuo žmogaus klaidų kontrolės bei prevencijos priemonių taikymo; α – suma pagal (1.1) $\alpha = \alpha_A + \alpha_z$; a – šiuo metu įprastos sąlygos, b – kai papildomos lėšos skiriamos skerspjūvio plotui A padidinti, c – kai tos pačios lėšos, skiriamos žmogaus klaidų kontrolės ir prevencijos priemonėms sugriežtinti

Statistiniai duomenys rodo, kad rizika dėl konstrukcijų griūčių eksploatuojamuose statiniuose bent kelis šimtus kartų yra didesnė nei rizika dėl kitų nuo žmogaus valios nepriklausančių veiksnių, pvz., dėl gaisrų ir sprogimų, žmonių kritimų. Tų pačių duomenų analizė rodo, kad šiuolaikinėse normose, jų tarpe ir Lietuvoje pokaryje galiojusiose SNiP normose, pasirinktoji α_A ribinių būvių tikimybė yra pakankamai konservatyvi žmonių saugos požiūriu ir ji galėtų būti atspirties tašku α_A reikšmėms normuoti. Ši nuostata buvo įgyvendinama rengiant ne tik STR.2.05.03 ir STR.2.05.04 normas bet taip pat ir LST EN 1990 ir LST EN 1991 normų

valstybinio pritaikymo dokumentus. Juose buvo pasirenkamos tokios, pvz., apkrovų, medžiagų stiprio skaičiuotinės (t. y. charakteristinės ir dalinių koeficientų) reikšmės, kurios vidutiniškai užtikrina ne mažesnę patikimumą nei projektuojant pagal Lietuvoje iki tol galiojusias SNIp normas. Be to, kaip buvo minėta, mažinant bendrąją ribinių būvių tikimybę $\alpha = \alpha_A + \alpha_z$, o kartu ir žmonių žūčių riziką, greta α_A rizikos mažinimo deramas dėmesys buvo skiriamas taip pat ir α_z rizikai mažinti, t. y. žmogaus klaidų kontrolei ir prevencijai reglamentuoti.

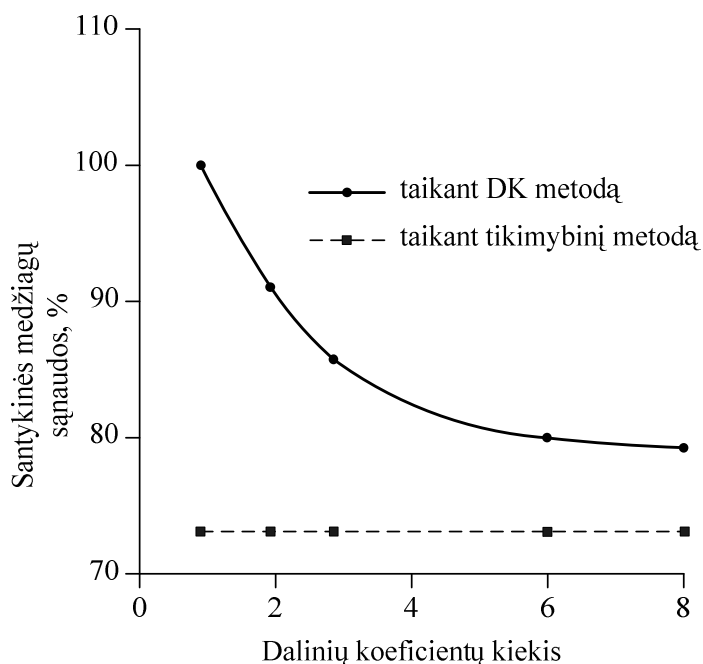
Euronormose yra reglamentuojama teisė kiekvienai ES šaliai pasirinkti tos šalies normų tobulinimo patirtį atitinkančias skaičiuotines reikšmes visų pirma dalinius patikimumo koeficientus. Nesant tokios patirties galima pasinaudoti EN 1990 rekomenduojamomis padidintomis dalinių koeficientų reikšmėmis, kurios kompensuotų tokios patirties stoką. Atsižvelgiant į statybų dideles apimtis, bankų palūkanas statybų kreditams, didelį statinių eksploatacijos laikotarpį, išsaldomos papildomos lėšos statinių eksploatacijos laikotarpiui dėl tokio dalinių koeficientų padidinimo tampa didele našta šalies ekonomikai. Be to, padidinus dalinius koeficientus, susiduriama su statinių, kurie buvo suprojektuoti, pastatyti ir sėkmingai eksploatuojami, sustiprinimo pateisinimo problema. Dėl šių priežasčių ES šalys didelį dėmesį skiria normų tobulinimo patirties maksimaliam panaudojimui pasirenkant P_A normuotą patikimumą. Į šiuos aspektus buvo atsižvelgiama pasirenkant taip pat ir LST EN 1991 normose reglamentuojamas skaičiuotines ir dalinių patikimumo koeficientų reikšmes.

Projektavimo normų tobulinimo patirties panaudojimo įtaka medžiagų poreikiui vaizduojama grafiku, 2 paveiksle. Pateiktieji duomenys atitinka SNIp projektavimo normas, kurios galiojo ir Lietuvoje, o taip pat Sovietų Sąjungos įtakoje buvusiose Rytų Europos šalyse. Kaip matyti iš 2 pav. pateikto grafiko, projektavimo, statybos ir eksploatacijos patirtimi grindžiamas normų tobulinimas pokario, t. y. 1949...1986, metais, nedidinant elementų ribinių būvių rizikos, o tik perskirstant patikimumą priklausomai nuo jo tikimybinės analizės patirties ir sukaupytų empirinių duomenų apie pasekmes įvykus ribiniam būviui, leido sumažinti plieno sąnaudas vidutiniškai apie 30 %. Nustatyta, kad plieno poreikis projektuojant gelžbetonines ir plienines konstrukcijas pagal Euronormas tose šalyse, kuriose į normų tobulinimo patirtį neatsižvelgiama, yra nuo 10 iki 20 % didesnis. Analogiški duomenys buvo gauti ir Lietuvoje taikytoms SNIp normoms, kai buvo palyginta lenkiamų gelžbetoninių elementų, suprojektuotų pagal EN normas neatsižvelgiant į dalinių koeficientų koregavimo patirtį ir pagal SNIp normų paskutinę laidą (kai į tokią patirtį jau yra atsižvelgiama) išilginės armatūros sąnaudas.



2 pav. Išilginės armatūros sąnaudos ρ_{sl} [%] lenkiamuose gelžbetoniniuose elementuose, suprojektuotuose pagal HN (Vengrijos normas) ir EN (Euronormas, kai nacionalinių normų tobulinimo patirtis nepanaudojama); taškais pažymėti metai, kuriais buvo koreguojami HN normose taikomieji daliniai koeficientai

Greta skaičiuotinių reikšmių normų, LST EN 1990, analogiškai kaip ir EN 1990, yra reglamentuojamas taikymas normų, kurios yra grindžiamos tiesioginiu tikimybinio skaičiavimu. Jas taikant projektavime galima operatyviai panaudoti papildomą statistinę informaciją, kuri projektuojant pagal skaičiuotinių reikšmių normas nepanaudojama, pvz., informaciją apie tos pačios klasės statybinių medžiagų vienos siuntos stiprio, elementų pavojingų pjūvių ar zonų matmenų apkrovų ir poveikių variaciją. Tokia statistinė informacija gaunama atliekant privalomuosius kokybės kontrolės bandymus bei mokslinius tyrimus. Be to, taikant tiesioginiu tikimybinio skaičiavimu grindžiamas normas, daliniai koeficientai netaikomi ir taip išvengiama netiesioginio patikimumo užtikrinimo, taikant skaičiuotinių reikšmių normas (ypač jeigu dalinių koeficientų kiekis yra nedidelis, kaip yra numatyta EN normose), paklaidų. Šias klaidas kompensuoti reikalingos papildomos medžiagų sąnaudos. Tiesioginiu tikimybinio metodu grindžiamų normų ekonominis efektyvumas iliustruojamas 3 paveikslu. Jame pateiktieji duomenys rodo, kad nemažinant elementų patikimumo, tiesioginiu tikimybinio metodu grindžiamos normos leidžia sutaupyti nuo 10 % iki 15 % medžiagų (arba esant toms pačioms medžiagų sąnaudomis padidinti elementų patikimumą).



3. pav. Santykinė medžiagų sąnaudų (%) priklausomybė nuo dalinių patikimumo koeficientų kiekio taikant skaičiuotinių reikšmių metodą ir tiesioginį tikimybinį metodą, esant tai pačiai ribinio būvio tikimybei (tyrimo, atlikto Vokietijoje, duomenys)

1.2. Skaičiuotinės situacijos atsparumo ir poveikių efekto skaičiuotinės reikšmės

Gali būti šios skaičiuotinės situacijos:

- nuolatinės, atitinkančios įprastąsias eksploataavimo sąlygas;
- trumpalaikės, pvz., statant ir (arba) gaminant konstrukcijas, atliekant remonto darbus;
- ypatingos, modeliuojančios pvz., sprogimą, gaisrą, transporto priemonių smūgius, lokalizuotą irimą.

Kiekvienoje iš išvardintų situacijų projektuojama sauga ir tinkamumas, t. y. išskiriamos dvi statinio elementų ribinių būvių grupės:

- saugos, kurioje nagrinėjamas stiprumas, stabilumas, patvarumas nuovargiui,
- tinkamumo, kurioje nagrinėjamos deformacijos, pleišėjimas, vibracijos; gali būti grįžtamieji arba negrįžtamieji (pvz., kai konstrukcijai įlinkus ar joje atsivėrus plyšiams ir nukrovus kintamąją apkrovą, konstrukcija nebegrįžta į pradinę būklę, t. y. joje išlieka nuolatinis plastinis (liekamas) įlinkis ar neužsivėrę plyšiai) tinkamumo ribiniai būviai.

Pažymėjus statinio elemento atsparumą simboliu R , poveikio efektą, pvz., įrašą, E , saugos ir tinkamumo projektavimo DK metodu sąlyga užrašoma taip

$$E_d \leq R_d. \quad (1.3)$$

Čia R_d ir E_d – atsparumo ir poveikio efekto skaičiuotinės reikšmės, kurios LST EN 1990 projektavimo normose apibendrintai išreiškiamos lygtimis:

$$R_d = R (\eta_i X_{k,i} / \gamma_{M,i}; a), i \geq 1, \quad (1.4)$$

$$E_d = E (F_{k,j} \gamma_{F,j}; \psi), j \geq 1. \quad (1.5)$$

Šiose formulėse: $R (...)$ ir $E (...)$ – atsparumo R ir poveikio efekto E išraiškos, t. y. jų apskaičiavimo modeliai; a – skerspjuvio rodiklis, pvz., skerspjuvio plotas; $X_{k,i}$ – medžiagos stiprio charakteristinė reikšmė; η_i – medžiagos stiprio konversijos koeficientas, įvertinantis, pvz., netiesioginio betono stiprio tempiant nustatymo, mastelio, drėgmės, temperatūros ir kitus veiksnius; $F_{k,j}$ – apkrovų, t. y.: nuolatinių, pvz., savojo svorio; kintamųjų, pvz., naudojimo, vėjo, sniego – ir ypatingųjų, pvz., sprogimų, transporto priemonių smūgių, – charakteristinės reikšmės; $\gamma_{M,i}$ – medžiagos stiprio dalinis koeficientas; dažniausiai saugos ribinių būvių grupės $\gamma_{M,i} > 1,0$; tinkamumo ribinių būvių grupės $\gamma_{M,i} = 1,0$; $\gamma_{F,j}$ – apkrovų daliniai koeficientai; jeigu konstrukcijų projektavimo reglamentuojančiuose normatyviniuose dokumentuose nenurodyta kitaip, dažniausiai saugos ribinių būvių grupės $\gamma_{F,j} > 1,0$, o tinkamumo ribinių būvių grupės $\gamma_{F,j} = 1,0$; $\psi = (\psi_0; \psi_1; \psi_2)$ – apkrovų derinimo koeficientas; ψ_0 koeficientas priartina poveikio efektą nuo kelių kintamųjų apkrovų derinio maksimumų tikimybę prie poveikio efekto, esant vienos kintamosios apkrovos maksimumo tikimybės; be to, šiuo koeficientu išskiriama *dažninės* (tada pasirenkama $\psi = \psi_1$ reikšmė) arba *tariamai nuolatinės* (tada pasirenkama $\psi = \psi_2$ reikšmė) apkrovos dalys, kurios taikomos projektuojant tinkamumą; $\psi = (\psi_0; \psi_1; \psi_2)$ koeficientas pasirenkamas iš 2 lentelės.

Lygtyse (1.4) ir (1.5) pasirenkant skirtingus $\gamma_{M,i}$, $\gamma_{F,j}$ ir ψ dalinius ir derinio koeficientus projektuojant saugos ir tinkamumo ribinius būvius laiduojama skirtinga atsparumo atsarga, o tuo pačiu ir ribinių būvių skirtinga tikimybė.

Saugos ribinių būvių tikimybė (saugos patikimumas) priklausomai nuo statinio (patalpos) paskirties papildomai diferencijuojami 5 lentelėje pasirinkant K_{FI} koeficientą, iš kurio dauginami $\gamma_{F,j}$ apkrovų daliniai koeficientai, o taip pat taikant projektavimo ir vykdymo darbų atitinkamas priežiūros ir kontrolės priemonės (žr. 5 lentelės 2 ir 3 pastabas).

2 lentelė. Rekomenduojamos pastatų ψ koeficientų reikšmės

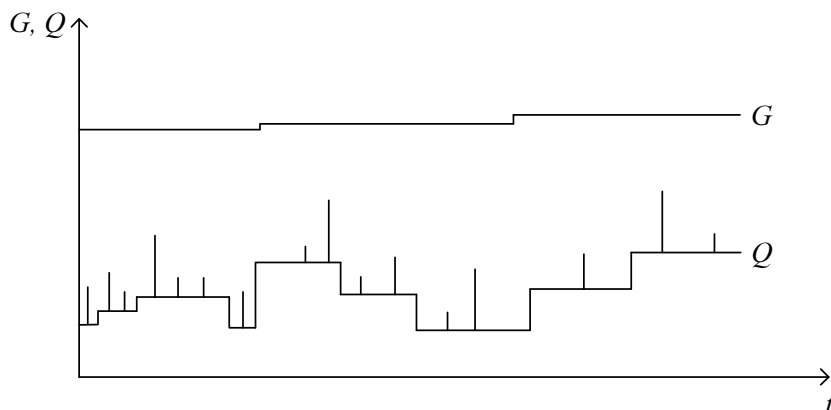
Poveikis	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Statinių naudojimo apkrovos kategorija			
A kategorija: namų ir gyvenamieji plotai	0,7	0,5	0,3
B kategorija: įstaigų plotai	0,7	0,5	0,3
C kategorija: susibūrimų plotai	0,7	0,7	0,6
D kategorija: parduotuvių plotai	0,7	0,7	0,6
E kategorija: saugyklų plotai	1,0	0,9	0,8
F kategorija: eismo plotai, transporto priemonių svoris ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
G kategorija: eismo plotai, $30 \text{ kN} < \text{transporto priemonių svoris} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
H kategorija: stogai	0	0	0
Statinių sniego apkrovos	0,7	0,5	0,2
Statinių vėjo apkrova	0,6	0,2	0
Temperatūra (ne gaisro) statiniuose	0,6	0,5	0

1.3. Charakteristinės bei kitos reprezentacinės reikšmės

Pagrindiniais kintamaisiais vadinami (1.4) ir (1.5) išraiškų argumentai $f, a, F_1, F_2, \dots$, kurie traktuojami kaip atsitiktiniai dydžiai X_i , $i = 1, 2, \dots, n$ su vidurkiu μ_{X_i} ir vidutine kvadratine nuokrypa σ_{X_i} arba variacijos koeficientu $\delta_{X_i} = \sigma_{X_i} / \mu_{X_i}$. Pagrindiniai kintamieji apibūdinami charakteristinėmis ir kitomis reprezentacinėmis reikšmėmis.

Apkrovos ir kiti poveikiai (žr. 4 pav.) gali būti:

- nuolatiniai G , kuriems laikas neturi įtakos arba kurie kinta pakankamai tolygiai, kol nepasiekia ribinės reikšmės, pvz. savasis konstrukcijų svoris, įlinkis, pamatų nuosėdis;
- kintamieji Q , pvz. naudojimo, vėjo, sniego, transporto apkrovos.



4 pav. Nuolatinės G ir kintamos Q (pvz., naudojimo) apkrovų priklausomybė nuo laiko t

Nuolatinė apkrova G , pvz., savasis konstrukcijų svoris, kai δ_G savojo svorio variacijos koeficientas yra nedidelis, dažnai gali būti apibūdinama vienintele reprezentacine reikšme, t. y. G_k charakteristine reikšme, $G_k = G_{k,sup} = G_{k,inf} = \mu_G$ (žr. 5 paveikslą), kuri nustatoma pagal nominalius (projektinius) konstrukcijos matmenis ir statybinės medžiagos tūrio svorio vidutinę reikšmę. Atskirais atvejais būtina savąjį svorį apibūdinti dviem reprezentacinėmis reikšmėmis – maksimalia $G_{k,sup}$ ir minimalia $G_{k,inf}$ charakteristinėmis reikšmėmis.

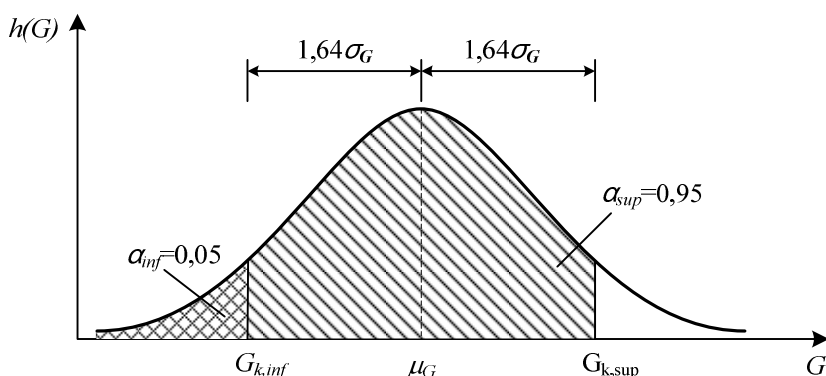
1.1 pavyzdys

Nustatyti $g_{k,inf}$, $g_{k,sup}$, $G_{k,inf}$, $G_{k,sup}$ sijai tolygiai paskirstytos ir sutelktos savojo svorio apkrovos reikšmės, taikomas, pvz., EQU statinės pusiausvyros sąlygos tikrinimui, jeigu g_k ar G_k charakteristinės reikšmės (apskaičiuojamos pagal konstrukcijų matmenis ir medžiagos tūrio svorį) yra $g_k = 10 \text{ kN/m}$ ir $G_k = 20 \text{ kN}$.

Konstrukcijoms, pagamintoms iš įvairių medžiagų, pvz., betoninėms, gelžbetoninėms, plieninėms, mūrinėms, medinėms, nesant tikslesnių statistinio tyrimo duomenų, tolygiai išskirstytai ir sutelktai apkrovoms galima pasirinkti, kad apkrovos aritmetinis vidurkis $\mu_g \approx g_k$, $\mu_G \approx G_k$ ir apkrovos variacijos koeficientas $\delta_g = \sigma_g/\mu_g \approx 0,1$, $\delta_G = \sigma_G/\mu_G \approx 0,1$, t. y. išskirstytos ir sutelktos apkrovos reikšmių vidutinės kvadratinės nuokrypos yra:

$$\sigma_g = \delta_g \mu_g = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ kN/m}^2,$$

$$\sigma_G = \delta_G \mu_G = 0,1 \cdot 20 = 2,0 \text{ kN}.$$



5 pav. G nuolatinės apkrovos G_k charakteristinės $G_{k,inf}$ minimalios ir $G_{k,sup}$ maksimalios reikšmių grafinė interpretacija: $h(G)$ – apkrovos tikimybės skirstinio tankis; μ_G – apkrovos aritmetinis vidurkis; σ_G – apkrovos vidutinė kvadratinė nuokrypa; $\alpha_{inf}=P(G < G_{k,inf})=0,05$ ir $\alpha_{sup}=P(G > G_{k,sup})=0,95$ – α tikimybės fraktiliai, kad $G_{k,inf}$ ir $G_{k,sup}$ nebus viršytos

Konstrukcijų savojo svorio apkrovos reikšmės pasiskirsto pagal normalųjį (Gauso) tikimybės skirstinį, todėl $g_{k,inf}$ ir $G_{k,inf}$ reikšmės, t. y. apkrovos 5 % fraktiliai (žr. 5 paveikslą) apskaičiuojami taikant išraiškas:

$$g_{k,inf} = \mu_g - 1,64 \sigma_g = 10 - 1,64 \cdot 1,0 = 8,36 \text{ kN/m},$$

$$G_{k,inf} = \mu_G - 1,64 \sigma_G = 20 - 1,64 \cdot 2,0 = 16,82 \text{ kN},$$

o $g_{k,sup}$ ir $G_{k,sup}$ reikšmės, t. y. 95 % fraktiliai (žr. 3.2 paveikslą) – taikant išraiškas:

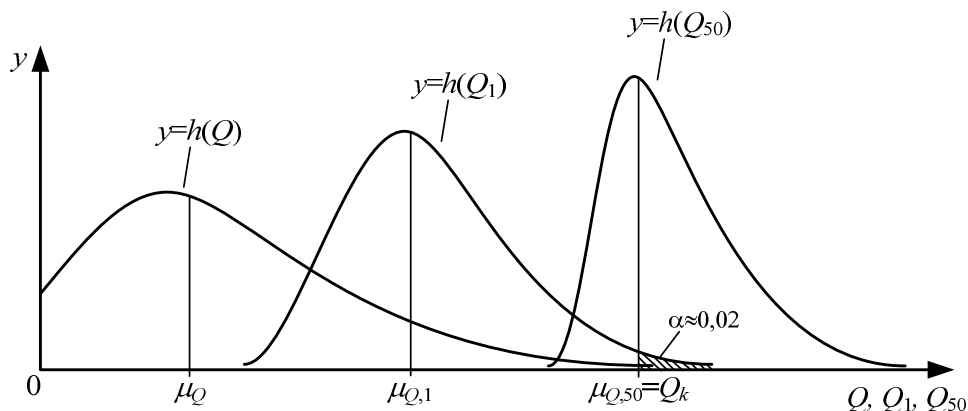
$$g_{k,sup} = \mu_g + 1,64 \sigma_g = 10 + 1,64 \cdot 1,0 = 11,64 \text{ kN/m},$$

$$G_{k,sup} = \mu_G + 1,64 \sigma_G = 20 + 1,64 \cdot 2,0 = 23,28 \text{ kN}.$$

Kintamosios apkrovos Q svarbiausioji reprezentacinė reikšmė yra jos charakteristinė reikšmė Q_k . Q_k charakteristinė reikšmė įprastai reprezentuojama Q_{50} maksimumų per 50 metų periodą tikimybinio skirstinio (žr. 6 paveikslą).

Sniego ar vėjo kintamosios apkrovos Q_{50} reikšmės įprastai nustatomos pagal Q_1 maksimumų per 1 metų periodo tikimybės skirstinio tankį $h(Q_1)$ (žr. 6 paveikslą). $h(Q_1)$ tankis nustatomas pagal atskiros vietovės meteorologinės stoties pakankamai didelio (ne mažiau kaip keliasdešimt) kiekio metinių maksimumų sniego ar vėjo apkrovos matavimų duomenis.

Jeigu statinio eksploatacijos (žr. 3 lentelę) arba skaičiuotinės situacijos trukmė yra kitokia, tada kintamosios apkrovos charakteristinė reikšmė $Q_k = Q_{k,t}$ gali atitikti maksimumų per kitokį (t) metų (ne tik maksimumų per $t=50$ metų) eksploatacijos periodą vidurkį. Nustatant bet kokią t laikotarpį atitinkančią $Q_{k,t}$ sniego ar vėjo apkrovos charakteristinę reikšmę reikia pasinaudoti LST EN 1991-1-3: 2003 ir LST EN 1991-1-4: 2003 rekomendacijomis.



6 pav. Kintamosios apkrovos $Q(t)$ nuo laiko t priklausančios dalies atsitiktinai pasirinktuoju laiko momentu Q , metinių maksimumų Q_1 , maksimumų per 50 metų periodą Q_{50} tikimybinių skirstinių tankiai $h(Q)$, $h(Q_1)$, $h(Q_{50})$ ir jų vidurkiai μ_Q , $\mu_{Q,1}$, $\mu_{Q,50}$; charakterinės $Q_k = Q_{k,50}$ reikšmės metinių maksimumų viršijimo tikimybė – $\alpha_k = P(Q_1 > Q_k) \approx 0,02$

3 lentelė. Skaičiuotiniai eksploatacijos laikotarpiai

Skaičiuotinio eksploatacijos laikotarpio kategorija	Siūlomas skaičiuotinis eksploatacijos laikotarpis (metai)	Pavyzdžiai
1	10	Laikinieji pastatai ir konstrukcijos
2	10-25	Pakeičiamos konstrukcijos dalys
3	15-30	Žemės ūkio ir kitos panašios konstrukcijos
4	50	Pastatų ir kitos įprastosios konstrukcijos
5	100	Ypatingų ir monumentalių pastatų konstrukcijos; tiltų ir kitų statinių konstrukcijos

Papildomai svarbiausiajai kintamosios apkrovos reprezentacinei reikšmei – Q_k charakteristinei reikšmei – gali būti ir kitos reprezentacinės reikšmės:

- a) $\psi_0 Q_k$ – derintinė reikšmė;
- b) $\psi_1 Q_k$ – dažninė reikšmė;
- c) $\psi_2 Q_k$ – tariamai nuolatinė reikšmė.

ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 koeficientai, o Q_k , $\psi_0 Q_k$, $\psi_1 Q_k$, $\psi_2 Q_k$ reprezentacinių reikšmių grafinė interpretacija teikiama 7 paveiksle.

1.2 pavyzdys

Nustatyti įstaigų plotų paskirstytos naudojimo apkrovos, t. y. kintamosios apkrovos, reprezentacines reikšmes.

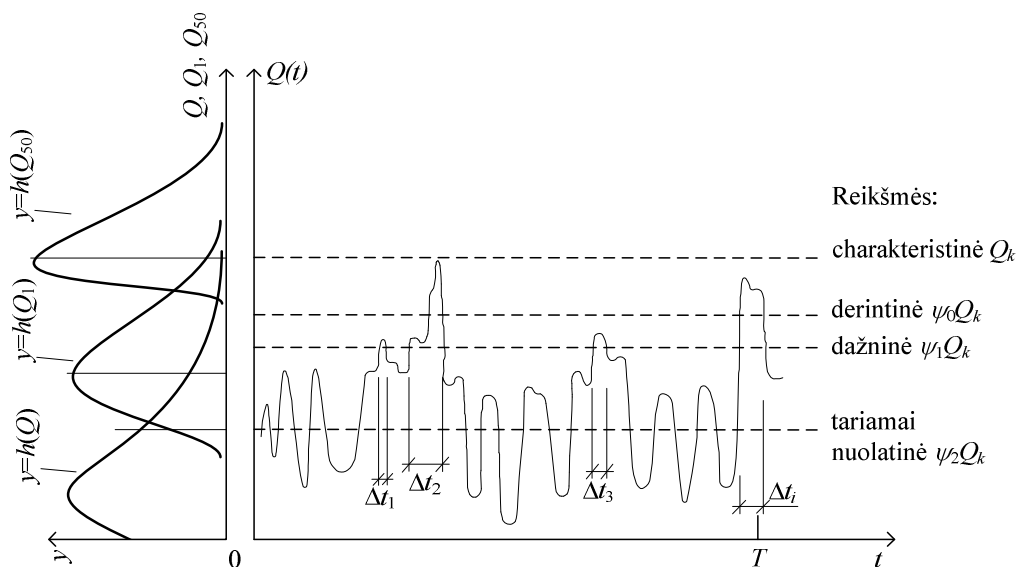
A. Naudojimo apkrovos pagrindinės reprezentacinės reikšmės yra q_k ir Q_k charakteristinės reikšmės. Įstaigų patalpoms $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$ ir $Q_k=3,0 \text{ kN}$ reikšmės pasirenkamos iš LST EN 1991-1-1:2004. Charakteristinės reikšmės taikomos tiek saugos, tiek tinkamumo ribinių būvių projektavime, o jų sandauga su vienu iš ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 daugikliu leidžia nustatyti kitas naudojimo apkrovos reprezentacines reikšmes: $\psi_0 q_k$, $\psi_0 Q_k$ – derintines, $\psi_1 q_k$, $\psi_1 Q_k$ – dažnines, $\psi_2 q_k$, $\psi_2 Q_k$ – tariamai nuolatinės.

B. Derintinė įstaigų patalpų naudojimo apkrovos reikšmė nustatoma dauginant q_k ir Q_k charakteristinę reikšmę iš $\psi_0=0,7$ koeficiento, pasirenkamo iš 2 lentelės:

$$\psi_0 q_k = 0,7 \cdot 2,0 = 1,4 \text{ kN/m}^2,$$

$$\psi_0 Q_k = 0,7 \cdot 3,0 = 2,1 \text{ kN}.$$

Šios reikšmės taikomos saugos ir tinkamumo negrižtamųjų ribinių būvių projektavime derinyje su kitomis konstrukciją veikiančiomis kintamosiomis apkrovomis.



7 pav. Kintamosios apkrovos $Q(t)$ charakteristinės Q_k , derintinės $\psi_0 Q_k$, dažninės $\psi_1 Q_k$ ir tariamai nuolatinės $\psi_2 Q_k$ reikšmių grafinė interpretacija; $h(Q)$, $h(Q_1)$, $h(Q_{50})$ – Q , Q_1 , Q_{50} atsitiktinių dydžių pagal 7 pav. tikimybės skirstinių tankiai; pasirenkant $\psi_1 Q_k$ imama $\sum_i \Delta t_i / T \approx 0,1$

C. Dažninė įstaigų patalpų naudojimo apkrovos reikšmė nustatoma dauginant q_k ar Q_k charakteristinę reikšmę iš $\psi_1=0,5$ koeficiento, pasirenkamo iš 2 lentelės:

$$\psi_1 q_k = 0,5 \cdot 2,0 = 1,0 \text{ kN/m}^2,$$

$$\psi_1 Q_k = 0,5 \cdot 3,0 = 1,5 \text{ kN}.$$

Šios reikšmės taikomos ypatingajai skaičiuotinei situacijai saugos ribinių būvių ir tinkamumo grįžtamųjų ribinių būvių projektavime.

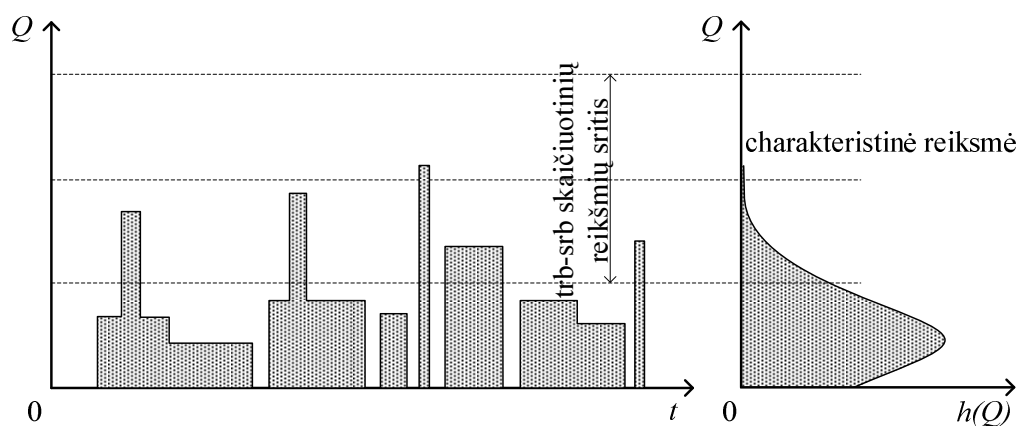
D. Tariamai nuolatinė įstaigų patalpų naudojimo apkrovos reikšmė nustatoma dauginant q_k ar Q_k charakteristinę reikšmę iš $\psi_2 = 0,3$ daugiklio, pasirenkamo iš 2 lentelės:

$$\psi_2 q_k = 0,3 \cdot 2,0 = 0,6 \text{ kN/m}^2,$$

$$\psi_2 Q_k = 0,3 \cdot 3,0 = 0,9 \text{ kN}.$$

Šios reikšmės taikomos ypatingajai skaičiuotinei situacijai saugos ribinių būvių ir tinkamumo grįžtamųjų ribinių būvių projektavime vertinant ilgalaikius efektus ir konstrukcijų išvaizdą.

Projektuojant DK metodu taikomos nuolatinės G_d ir kintamosios Q_d apkrovų skaičiuotinės reikšmės (8 pav.), kurios nustatomos atitinkamas reprezentacines reikšmes G_k , Q_k , $\psi_0 Q_k$, $\psi_1 Q_k$, $\psi_2 Q_k$ dauginant iš γ_F dalinio koeficiento, kuris gali būti lygus 1, pvz., tinkamumo ribiniam būviui.

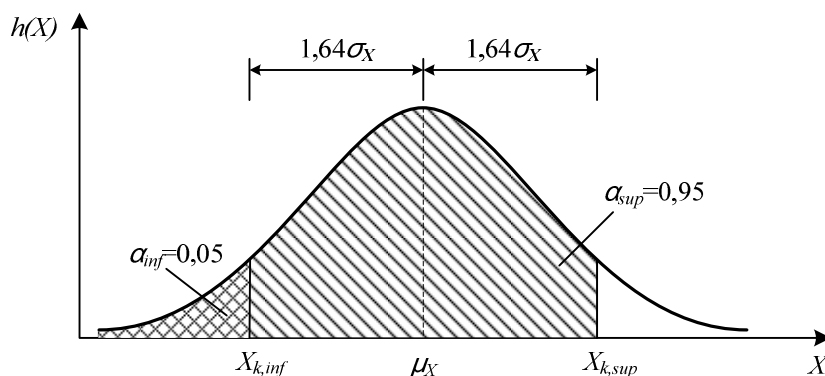


8 pav. Charakteristinė reikšmė ir skaičiuotinės kintamojo poveikio Q reikšmės; trb ir srb – tinkamumo ir saugos ribiniai būviai; t – laikas; $h(Q)$ – kintamojo poveikio tikimybės skirstinio tankis atsitiktinai pasirinktuoju laiko momentu (6 pav.)

Medžiagos mechaninių savybių rodikliai, pvz., jų stipris, apibūdinamas X_k charakteristine reikšme.

Dažniausiai taikoma viena charakteristinė reikšmė $X_k = X_{k,inf}$.

Bendruoju atveju, gali būti taikomos minimali $X_{k,inf}$ ir maksimali $X_{k,sup}$ charakteristinės reikšmės. Jeigu nenurodyta kitaip, šios charakteristinės reikšmės nustatomos vadovaujantis stiprio X normaliuoju skirstinio dėsnio ir 9 paveikslą schema.



9 pav. Medžiagos ar grunto stiprio X minimali $X_{k,inf}$ ir maksimali $X_{k,sup}$ charakteristinės reikšmės; $\alpha_{inf} = P(X < X_{k,inf}) = 0,05$ ir $\alpha_{sup} = P(X < X_{k,sup}) = 0,95$; μ_X ir σ_X – normalaus skirstinio tikimybės tankio $h(X)$ vidurkis ir vidutinė kvadratinė nuokrypa

Medžiagos mechaninių savybių rodiklio, pvz., jų stiprio X_d skaičiuotinė reikšmė nustatoma taikant išraišką

$$X_d = X_k \eta / \gamma_M . \quad (1.6)$$

Čia η ir γ_M – konversijos ir dalinis koeficientai, kurių paskirtis aptariama aiškinant (1.4) išraišką, o γ_M koeficiento modifikacijos (išreiškiant γ_M per du – γ_m ir γ_R koeficientus) aptariamose LST EN 1990: 2003 C priede, X_k – charakteristinė reikšmė.

Į poveikių efekto E ir atsparumo R modelių paklaidą atsižvelgiama vadovaujantis LST EN 1990 C priedo nurodymais.

Jeigu konstrukcijų projektavimą reglamentuojančiuose normatyviniuose dokumentuose nenurodyta kitaip, geometrinio rodiklio, pvz., a skerspjūvio matmenų pagal (1.4) sąlygą, charakteristinė reikšmė a_k įprastai pasirenkama vardinė (nurodytoji projekte) matmenų reikšmė.

Atskirais atvejais a_k (analogiškai kaip medžiagos stipriui) gali atitikti geometrinių matmenų atitinkamo lygmens fraktilį.

Skaičiuotinė geometrijos rodiklio reikšmė a_d , jeigu konstrukcijų projektavimą reglamentuojančiuose normatyviniuose dokumentuose nenurodyta kitaip, yra lygi a_k charakteristinei reikšmei.

Kai nagrinėjamas ribinis būvis labai priklauso nuo geometrinės formos, pvz., kai vertinama geometrinės formos įtaka klupimui, tokiais atvejais a_d gali būti pateikiama tiesiogiai normatyviniuose dokumentuose nurodomąja reikšme. Alternatyva gali būti geometrijos rodiklio a tinkamesnio lygmens fraktilis.

1.4. Poveikio efekto skaičiuotinė reikšmė

Jeigu konstrukcijų projektavimą reglamentuojančiuose normatyviniuose dokumentuose nenurodyta kitaip, E_d poveikių efektų skaičiuotinės reikšmės, naudojamos saugos ir tinkamumo ribinių būvių tikrinimui dalinių koeficientų metodu, apskaičiuojamos taikant žemiau pateikiamą metodiką.

Tikrinant saugos ribinius būvius, išskiriamos šios ribinių būvių klasės:

- a) konstrukcijų irimo (*STR* klasė);
- b) grunto įrimo arba pernelyg didelių deformacijų (*GEO* klasė);
- c) statinės pusiausvyros netekimo (*EQU* klasė);
- d) irimo dėl nuovargio (*FAT* klasė).

Kiekvienos klasės saugos ribiniai būviai, kai reikia, tikrinami nuolatinei, trumpalaikiai, ypatingai ir seisminei skaičiuotinėms situacijoms.

Šioms ribinių būvių klasėms ir situacijoms nustatant E_d poveikio efektą pagal (1.3) taikytini toliau aptariami skirtingi apkrovų deriniai.

Tikrinant konstrukcijų irimo (*STR* klasės) ribinius būvius nuolatinėje ir trumpalaikėje skaičiuotinėse situacijose poveikių efektas E_d nustatomas taikant pagrindinį apkrovų derinį, dažniausiai pasitaikančiais atvejais, kai kintamųjų apkrovų yra viena arba dvi, apskaičiuojamas pagal (1.8) ir (1.9) formules, priimant $i=2$, o kai kintamųjų apkrovų yra daugiau nei dvi – naudojantis (1.10–1.12) formulėmis.

Kai kintamųjų apkrovų yra daugiau nei dvi, poveikių efektas E_d apskaičiuojamas taikant bendrąją išraišką

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}, j \geq 1, i > 1 \quad (1.7)$$

arba alternatyviai tą iš dviejų išraiškų, kurią taikant gaunamas nepalankesnis rezultatas

$$\begin{cases} E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \}, & j \geq 1, \quad i > 1; \\ E_d = E \{ \xi \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \}, & j \geq 1, \quad i > 1. \end{cases} \quad (1.8)$$

$$\begin{cases} E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \}, & j \geq 1, \quad i > 1; \\ E_d = E \{ \xi \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \}, & j \geq 1, \quad i > 1. \end{cases} \quad (1.9)$$

(1.7)-(1.9) formulų {...} skliaustuose apribotas atitinkamas derinys LST EN 1990 užrašomas išraiškomis:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "++" } \gamma_P P \text{ "++" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "++" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (1.10)$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "++" } \gamma_P P \text{ "++" } \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} \text{ "++" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (1.11)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "++" } \gamma_P P \text{ "++" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "++" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}. \quad (1.12)$$

(1.10)-(1.12) išraiškų žymenys reiškia:

“++” – „derinamas su“;

Σ – „derintinis iš“.

4 lentelė. Saugos ribinių būvių (STR/GEO – B grupė) tikrinimui taikomos poveikių skaičiuotinės reikšmės

Nuolatinė ir trumpalaikė skaičiuotinės situacijos	Nuolatiniai poveikiai		Vyraujantysis kintamasis poveikis *	Kartu veikiantys kintamieji poveikiai*	
	Nepalankūs	Palankūs		Pagrindinis (jei yra)	Kiti
(6.4) išraiška	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(6.4a) išraiška	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(6.4b) išraiška	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
*Kintamieji poveikiai pateikiami 1 lentelėje. Pastabos Taikomos šios γ ir ξ reikšmės: $\gamma_{Gj,sup} = 1,35 K_{FI}$; $\gamma_{Gj,inf} = 1,0$; $\gamma_{Q,1} = 1,3 K_{FI}$, kai poveikis nepalankus ($\gamma_{Q,1} = 0$, kai palankus); $\gamma_{Q,i} = 1,3 K_{FI}$, kai poveikis nepalankus ($\gamma_{Q,i} = 0$, kai palankus); K_{FI} – koeficientas, kurio reikšmės nuolatinei skaičiuotinei situacijai pasirenkamos pagal 5 lentelę priklausomai nuo statinių (patalpų) paskirties ir jiems priskiriamos patikimumo klasės; ξ – koeficientas, kuris nustatomas pagal (1.13) išraišką. Visų nuolatinių vieno šaltinio poveikių charakteringosios reikšmės dauginamos iš $\gamma_{G,sup}$, jeigu suminis atstojamasis poveikio efektas yra nepalankus ir iš $\gamma_{G,inf}$, jeigu suminis atstojamasis poveikio efektas yra palankus.					

5 lentelė. K_{FI} koeficientas, taikomas 4 lentelės $\gamma_{G,sup}$ ir γ_Q apkrovų daliniams koeficientams nustatyti

Klasės		Pastatų (patalpų) paskirtis	Pasekmių apibūdinimas	K_{FI}
pasekmių	patikimumo			
CC3	RC3	Žiūrovų tribūnos, visuomeniniai pastatai, kurių griūtis pasekmės yra labai didelės, pvz. koncertų salė	Daugelio žmonių gyvybių netektis, labai sunkios ekonominės, socialinės pasekmės arba didelė žala aplinkai	1,1
CC2	RC2	Gyvenamieji ir administraciniai pastatai, visuomeniniai pastatai, kurių griūtis pasekmės yra vidutinės, pvz. administracinis pastatas	Vidutinio kiekio žmonių gyvybių netektis, reikšmingos ekonominės, socialinės pasekmės arba reikšminga žala aplinkai	1,0
CC1	RC1	Žemės ūkio pastatai, į kuriuos žmonės paprastai neįeina, pvz., sandėliai, šiltadaržiai.	Nedidelio kiekio žmonių gyvybių netektis, mažos arba nereikšmingos ekonominės, socialinės pasekmės arba nedidelė žala aplinkai	0,9
Pastabos - Atsižvelgiant į konstrukcijų pavidalą ir pasirinktuosius projektinius sprendimus, konkretūs elementai gali būti priskiriami tai pačiai, aukštesnei arba žemesnei klasei. - Esant RC3 klasei pirmumas paprastai teikiamas kitoms priemonėms, pvz., projektavimo ir atlikimo priežiūrai, o ne K_{FI} koeficientų taikymui. - Projektavimo ir atlikimo priežiūros diferenciacija įprastai siejama su patikimumo klase ir susideda iš įvairių kokybės kontrolės priemonių taikymo, kurios gali būti atliekamos kartu. Plačiau apie tai žr. LST EN 1990 B priedą.				

Be to (1.7)–(1.12) išraiškose taikomi šie žymenys:

$G_{k,j}$ – nuolatinių apkrovų charakteristinės reikšmės;

$Q_{k,1}$ ir $Q_{k,i}$ – vyraujančios (turinčios didžiausią įtaką E_d reikšmei) ir kartu veikiančių kintamųjų apkrovų charakteristinės reikšmės;

$\gamma_{G,j}$ ir $\gamma_{Q,i}$ – nuolatinių ir kintamųjų apkrovų daliniai koeficientai STR/GEO – B grupei (žr. 4 lentelę);

P ir γ_p – išankstinio įtempio reprezentacinė reikšmė (t. y. P_k arba P_m) ir dalinis koeficientas, kurie pasirenkami atsižvelgiant į išankstinį įtempimą nagrinėjančio atitinkamo reglamento reikalavimus.

$\psi_{0,i}$, $\psi_{0,1}$ – kintamųjų apkrovų derinio koeficientas, pvz., suvienodinantis kelių apkrovų maksimumų pasitaikymo vienu metu ir atskiros apkrovos maksimumo pasitaikymo tikimybes;

ξ – nepalankaus G nuolatinio poveikio sumažinimo koeficientas (dažniausiai – $\xi = 0,85$); ξ nustatomas taikant išraišką

$$\xi = 0,78 + 0,22 / \sqrt{n}, \quad (1.13)$$

$$0,85 \leq \xi \leq 1,0, \quad (1.14)$$

čia n – konstrukcijų elementų ir kitų gabalinių medžiagų atskirų elementų kiekis; jeigu šie elementai yra nevienodi, tada nustatomas sąlyginai vienodų elementų kiekis n , atsižvelgiant į didžiausio elemento svorį G_1 :

$$n = \sum_{i=1}^m G_i / G_1, \quad (1.15)$$

čia G_i – visų nevienodų $i = 1, 2, \dots, m$ elementų svoris.

2. PASTATŲ SAVOJO SVORIO IR NAUDOJIMO APKROVOS

2.1. Bendrieji principai ir taisyklės

Bendrieji apkrovų ir poveikių klasifikavimo ir parinkimo principai, įvertinant ir aplinkos poveikius bei jų nustatymas patikimumui užtikrinti yra pateikti euronormose LST EN 1991–1:2002 bei STR 2.05.04:2003. Šiuose normatyviniuose dokumentuose yra aprašomi apkrovų parametrai, jų charakteristinės ir skaičiuotinės reikšmės, kurios naudojamos atliekant konstrukcijų skaičiavimus. Detalesni apkrovų ir poveikių parinkimo nurodymai ir nustatymo aprašymai yra pateikti atskirose LST EN 1991 dalyse. Konstrukcinių elementų ir sandėliuojamų medžiagų tankiai, konstrukcijų savasis svoris ir pastatų naudojimo apkrovos yra aprašomos ir pateiktos LST EN 1991–1–1:2004. Pateiktos kai kurių medžiagų savojo svorio ir apkrovų reikšmės nėra visiškai konkrečios ir duodamos jų ribos, nes duomenys apie medžiagų tankius, natūralaus grunto byrėjimo kampą ir kurias naudojimo apkrovas nėra pilnai statistiniai nustatyti ir projektuotojas vienas arba suderinęs su užsakovu gali nustatyti savas reikšmes nurodytose ribose.

2.2. Poveikių klasifikacija ir projektinės situacijos

Konstrukcijos ar jos elemento savasis svoris yra priimamas kaip nuolatinis poveikis. Naudojimo apkrovos yra laikomos kintamomis. Jeigu yra abejonių ar prielaidų, kad savojo svorio poveikis gali kisti, tai nuo jo susidaranti apkrova laikoma kintama (kaip naudojimo) apkrova.

Aplamai, naudojimo apkrovos laikomos statinėmis apkrovomis. Jos gali kisti veikiant dinaminiais poveikiams, jas padidinant padauginus iš dinaminio koeficiento. Jeigu naudojimo

apkrova sukelia ženklus konstrukcijos svyravimus (pagreičius), tai atliekamas konstrukcijos dinaminis skaičiavimas.

Projektuojant konstrukcijas turi būti išnagrinėjamos visos jas veikiančių apkrovimų situacijos ir priimami kritiniai apkrovimo atvejai. Kiekvienai situacijai reikia nustatyti tinkamas nuolatinės ir naudojimo (kintamąsias) apkrovas. Nagrinėjant kritinius apkrovimo atvejus, įvertinamos labiausiai nepalankios įtakos sritys kiekvienam atskiram (individualiam) poveikiui. Pirmiausia turi būti teisingai įvertinamos kintamųjų apkrovų situacijos. Tai kartais liečia ir savąjį svorį, nes gali būti atvejai, kai atskiri konstrukciniai elementai arba medžiagos gali būti nuimamos arba pridedamos (atskirose skaičiuotinėse situacijose).

2.3. Medžiagų tankiai

Terminas „tankis“ suprantamas kaip masė (ne svoris) tenkantis vienetiniam tūriui, plotui ar ilgiui. Vadinasi, jos vienetinio dydžio dimensija yra nustatoma, kaip kg/m^3 , kg/m^2 arba kg/m (pagal ISO 9194). Trimatėms medžiagoms (dirbiniams), kurių dimensijos yra vienos eilės tankio charakteringoji reikšmė yra tūrinis svoris ir pagal EN 1991-1-1 priimame kN/m^3 , lakštinėms medžiagoms (pvz., stogo dangai), kurių viena dimensija yra žymiai didesnė už kitas dvi, tankio charakteringosios reikšmės ploto vieneto svoriai (kN/m^2). Aplamai, kai kuriais atvejais tankis gali būti kintamas dydis. Pavyzdžiui, tankį gali įtakoti aplinkos drėgnis ir kt. Tokiais atvejais vidutinė reikšmė ir jos sklaida gali būti nustatoma panaudojant turimus eksperimentinius duomenis. Jeigu variacijos koeficientas yra didesnis už 0,05 gali būti naudojamos minimali ir maksimali charakteringosios reikšmės ribos.

Charakteringosios savojo svorio reikšmės ir natūralaus byrėjimo kampai yra pateikti LST EN 1991-1-1 A priede. Šiame dokumente pateiktos reikšmės atitinka vidutines reikšmes, kurios paprastai laikomos charakteristinėmis reikšmėmis. Realiomis sąlygomis medžiagų tankis ir natūralaus byrėjimo kampas gali būti skirtingi. Tai priklauso nuo medžiagų aplinkos sąlygų, supylimo kokybės, drėgnio, sanklodos gylio ir kt. Tai rodo, kad apie faktiškąsias reikšmes, kurios priimamos skaičiuojant apkrovas, reikia spręsti įvertinant visus veiksnius, kurie gali įtakoti joms. Pavyzdžiui, smiltainio tankis $\gamma=21,0\text{--}27,0 \text{ kN/m}^3$, cemento skiedinys – $19\text{--}23 \text{ kN/m}^3$, smėlio, žvyro natūralaus byrėjimo kampas $\phi=15\text{--}20^\circ$ ir kita.

Atvejais, kai savojo svorio variacija yra didelė (kai variacijos koeficientas didesnis už 0,05) ir kai tai gali turėti ženklūs įtakos konstrukcijų patikimumui, minimalios ir maksimalios sandėliuojamų statybinių medžiagų vardinio tankio ir natūraliojo šlaito kampų reikšmės priimamos įvertinant jo nepalankią įtaką. Papildomai atsitiktinis savojo svorio kintamumas gali būti įvertintas

koeficientu (pvz., skaičiuojant konstrukcijas ribiniams būviams, nuolatinei apkrovai yra priimtas dalinis koeficientas 1,35), kitais atvejais žr. LST EN 1990 A1.2(A) lentelę.

2.4. Statinio elementų savasis svoris

Statinio elementais yra laikomos tik laikančiosios konstrukcijos (kolonos, sijos, rėmai, pamatai ir pan.), bet ir kiti elementai (pertvaros, pastoviai prie laikančiųjų konstrukcijų ir kitų elementų pritvirtinta įranga). Visų statinio elementų savasis svoris nustatomas naudojantis juos sudarančių medžiagų tankių vardinėmis reikšmėmis. Maksimalios ir minimalios ribos turi būti priimanamos įvertinant galimą medžiagų tankio kitimą dėl naudojimo ir aplinkos sąlygų.

3. STATINIŲ NAUDOJIMO APKROVOS

3.1. Apkrovimo plotų ir atvejų klasifikavimas

Atsižvelgiant į statinių paskirtį ir jų naudojimo specifiką jų apkrovimo plotai ir naudojimo apkrovų reikšmės yra skirstomi į kategorijas. Yra dešimt pagrindinių kategorijų, žymimų A, B, C, D, E, F, G, H, I ir K:

1. Gyvenamųjų socialinės, komercinės ir administracinės paskirties plotai: A, B, C, D kategorijos.
2. Sandėliavimo ir pramonės veiklos plotai: E, F, G kategorijos.
3. Stogai: H, I, K kategorijos.

Pavyzdžiui, A kategorija apima gyvenamųjų pastatų, ligoninių, globos namų kambarius, bendrabučių ir viešbučių miegamuosius kambarius, virtuves, tualetus; D kategorija – prekybos plotus; E – sandėliavimo ir pramoninės veiklos plotus ir kt. Kai kurios kategorijos dar yra skirstomos į pogrupius:

A, B, C, D apkrovimo plotų kategorijų tipai, pateikti 6 lentelėje, o jų naudojimo apkrovų charakteristinės reikšmės yra pateiktos 7 lentelėje. Kitų kategorijų LST EN 1991–1–1 6.3–6.11 lentelėse.

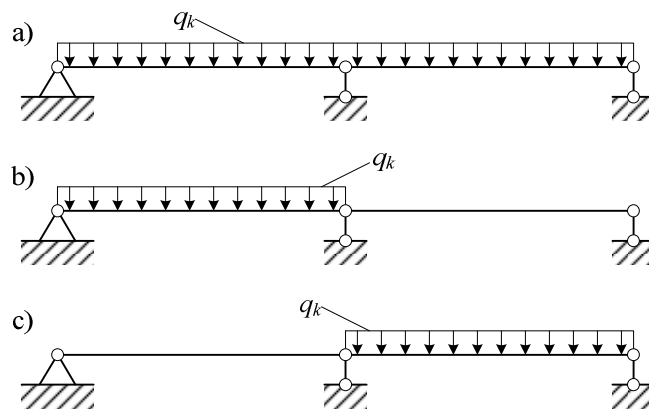
6 lentelė. Naudojimų kategorijos

Kategorija	Specialusis naudojimas	Pavyzdys
A	Namų ir gyvenamosios veiklos plotai	Gyvenamųjų pastatų kambariai; globos namų ir ligoninių kambariai; viešbučių ir bendrabučių miegamieji kambariai; virtuvės ir tualetai
B	Išstaigų plotai	
C	Plotai, kuriuose gali rinktis žmonės (išskyrus plotus, priskirtus prie A, B ir D kategorijų)	C1: plotai su stalais ir kt., pvz., plotai mokyklose, kavinėse, restoranuose, valgyklose, skaityklose, priimamuosiuose ir kt. C2: plotai su fiksuotomis vietomis atsisėsti, pvz., bažnyčių, teatrų ir kinų, konferencijų salių, auditorijų, susirinkimų salių, laukimo salių, geležinkelio laukimo salių plotai. C3: plotai be kliūčių žmonėms judėti, pvz., muziejų, parodų salių plotai ir kt. praeigų plotai visuomeniniuose ir administraciniuose pastatuose, viešbučiuose, ligoninėse, geležinkelio stočių priekinės aikštelės. C4: plotai, kuriuose gali vykti fizinė veikla, pvz., šokių salės, sporto salės, scenos. C5: plotai, kuriuose gali susitelkti daug žmonių, pvz., visuomeninių, renginių pastatuose: koncertų salėse, sporto salėse, įskaitant tribūnas, terasose ir praeigose, geležinkelio peronuose.
D	Prekybos plotai	D1: mažmeninės prekybos bendrųjų parduotuvių plotai. D2: universalinių parduotuvių plotai.
1 Pastaba: Atsižvelgiant į numatomus naudojimo plotus, kurie atitinka C2, C3, C4 kategorijų charakteristikas, užsakovo ir (arba) pagal nacionaliniame priede priimtą sprendimą galima priskirti prie C5 kategorijos.		
2 Pastaba: Nacionaliniame priede galima pateikti A, B, nuo C1 iki C5, D1 ir D2 kategorijas.		

3.2. Apkrovimo atvejai

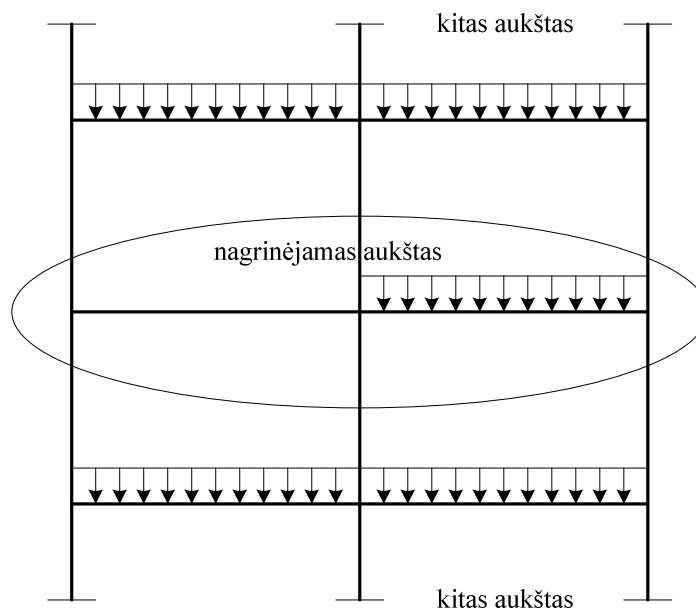
Skaičiuojant ir projektuojant vieno aukšto konkretų horizontalų elementą (konstrukciją) naudojimo apkrova priimama kaip laisvai veikiantis poveikis, pridėtas labiausiai pavojingame tam elementui įtakos plote. Tą elementą veikiančių apkrovų reikšmės reikia pritaikyti įvairiems apkrovų išdėstymams konstrukcinio elemento ribose, kad būtų gautos nepalankiausios ir palankiausios jėgos ir momentai nagrinėjamame pjūvyje, kadangi naudojimo apkrovos yra laisvosios kintamosios.

Pagal naudojimo apkrovų išdėstymo viename aukšte variantą, pavaizduotą 10 paveiksle, didžiausias lenkimo momentas sijose ties vidurine atrama bus a) apkrovimo atveju, o pirmos ir antros angos viduryje atitinkamai c) ir b) apkrovimo atvejais.



10 pav. Vieno aukšto ribose naudojimo apkrovų skirtingi išdėstymai

Jeigu apkrovos kituose aukštuose turi įtakos konstrukcijai nagrinėjamame aukšte, tai šias apkrovas galima priimti kaip tolygiai išdėstytus (fiksotus) poveikius (11 pav.).



11 pav. Kitų aukštų tolygiai paskirstytos apkrovos kartu su apkrovos specifiniu išdėstymu nagrinėjamame aukšte

Naudojimo apkrovų charakteristines reikšmes q_k A, B, C, D, H ir I kategorijų plotų konstrukcijoms galima sumažinti. Tai daroma, atsižvelgiant į atitinkamo elemento atlaikomus apkrovų plotus, pritaikant redukcijos koeficientą α_A , kuris A–E apkrauto plotų kategorijoms apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0. \quad (3.1)$$

C ir D kategorijoms taikomas apribojimas $\alpha_A \geq 0,6$. Čia ψ_0 – poveikių derinio koeficientas (A, B, C ir D kategorijoms lygus 0,7) arba priimamas pagal EN 1990 A1 priedo (A1.1 lentelę).

A – apkrautasis plotas; $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Duotoji formulė (3.1) rodo, kad didinant plotą A , redukcijos koeficientas mažėja, t. y. plotui didėjant vidutinė apkrova ploto vienetui mažėja, nes sunkiau ir lengviau apkrautų plotų apkrovos turi vidurkio efektą.

Apkrauto ploto reikšmės priklauso nuo apkrovų išdėstymo atlaikomo elemento ribose. Pavyzdžiui, 10 pav. a) schemoje apkrovos plotas yra pagal abiejų tarpatramių ilgį, b) schemoje pagal pirmojo tarpatramio ilgį, c) schemoje pagal antrojo tarpatramio ilgį ir pan.

Projektuojant vertikaliai stovinčias konstrukcijas (kolonas, sienas), kurios perima kelių (daugiau kaip dviejų) aukštų apkrovas, sumines kiekvieno aukšto naudojimo apkrovas reikia laikyti tolygiai paskirstytomis.

Trijų ir daugiau aukštų apkrovos A, B, C, D kategorijų plotams naudojimo apkrovos gali būti sumažintos, dauginant iš redukcijos koeficiento α_n , kuris įvertina tai, kad mažai tikėtina, jog apkrovos nuo kelių aukštų didžiausias reikšmes pasieks vienu metu.

Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\psi_0}{n}, \quad (3.2)$$

čia n – aukštų skaičius virš nagrinėjamo elemento (konstrukcijos); ψ_0 – apkrovų derinio koeficientas.

Visoms kitoms apkrovų plotų kategorijoms α_n turi būti priimamas lygus vienetui.

Kai naudojimo apkrova yra traktuojama lydinčiu poveikiu, reikia taikyti tik vieną iš dviejų koeficientų: α_n arba ψ .

3.3. Charakteristinės naudojimo apkrovų reikšmės

Apkrovos gali veikti įvairiomis kryptimis. Tačiau jos visos priklauso nuo vertikaliai ir horizontaliai veikiančių apkrovų, kurių charakteristinės reikšmės yra pateiktos LST EN 1991–1–1

6.2, 6.4–6.6, 6.8 ir 6.9 lentelėse bei LST EN 1990. LST EN 1990 standarte taip pat pateikiamas dinaminio poveikio įvertinimas. Naudojimo apkrovos ant pastatų perdangų balkonų ir laiptų pateikiamos 7 lentelėje. Čia taip pat yra duotos apkrovų reikšmės rekomenduojamos naudoti Lietuvoje EN 1991–1–1 nacionaliniame priede.

7 lentelė. Naudojimo apkrovos ant pastatų perdangų, balkonų ir laiptų

Apkrautųjų plotų kategorijos	q_k , kN/m ²		Q_k , kN	
	EN 1991–1–1	nacionaliniame priede siūloma	EN 1991–1–1	nacionaliniame priede siūloma
A kategorija				
– perdangos	1,5–2,0	1,5	2,0–3,0	2,0
– laiptai	2,0–4,0	2,0	2,0–4,0	2,0
– balkonai	2,5–4,0	2,5	2,0–3,0	2,0
B kategorija	2,0–3,0	2,0	1,5–4,5	3,0
C kategorija				
– C1	2,0–3,0	3,0	3,0–4,0	4,0
– C2	3,0–4,0	4,0	2,5–7,0(4,0)	7,0
– C3	3,0–5,0	5,0	4,0–7,0	7,0
– C4	4,5–5,0	5,0	3,5–7,0	7,0
– C5	5,0–7,5	5,0	3,5–4,5	3,5
D kategorija				
– D1	4,0–5,0	4,0	3,5–7,0(4,0)	3,5
– D2	4,0–5,0	5,0	3,5–7,0	7,0

Pastabos:

- kai reikia q_k ir Q_k skaičiuojant yra padidindamos (pvz., laiptų ir balkonų, atsižvelgiant į matmenis);
- vietiniams patikrinimams reikia taikyti tik koncentruotą apkrovą Q_k ;
- koncentruotas sandėliavimo lentynų ir kėlimo įrangos apkrovas reikia nustatyti konkrečiu atveju;
- reikia atsižvelgti į tai, kad ši koncentruotoji jėga gali veikti bet kuriame taške ant perdangos, balkono arba laiptų į plotą, kurio forma turi atitikti perdangos panaudojimą ir pavidalą. Galima priimti 50 mm kraštinės kvadrato formą;
- kai perdangos gali būti veikiamos įvairių naudojimo apkrovų, jas reikia suprojektuoti atsižvelgiant į nepalankiausią apkrovos kategoriją, kuriai veikiant gaunamas didžiausias projektuojamojo elemento poveikių efektas (t. y. jėgos arba įlinkis);
- jeigu ant perdangos apkrovą įmanoma paskirstyti skersine kryptimi, kilnojamųjų pertvarų savąjį svorį galima įvertinti tolygiai paskirstyta apkrova q_k , kurią reikia pridėti prie perdangų

naudojimo apkrovų, paimtų iš 7 lentelės. Ši tolygiai paskirstyta apkrova priklauso nuo pertvarų savojo svorio:

- kilnojamosios pertvaros, kurių savasis svoris $\leq 1,0$ kN/m sienos ilgio, $q_k = 0,5$ kN/m²;
- kilnojamosios pertvaros, kurių savasis svoris $\leq 2,0$ kN/m sienos ilgio, $q_k = 0,8$ kN/m²;
- kilnojamosios pertvaros, kurių savasis svoris $\leq 3,0$ kN/m sienos ilgio, $q_k = 1,2$ kN/m².

Sunkesnes pertvaras reikia įvertinti, atsižvelgiant į:

- pertvarų vietas ir kryptis statinyje,
- perdangų konstrukcijos formą.

Horizontaliųjų naudojimo apkrovų charakteristinės reikšmės duotos LST EN 1991–1–1 6.12 lentelėje ir B priede.

Kai kurios vertikaliosios ir horizontaliosios naudojimo apkrovos yra pateiktos rekomenduojamų dydžių intervalais. Tai turi įvertinti projektuotojas vienas arba kartu su užsakovu, kuris parenka atitinkamą apkrovos dydį ir apkrovimo plotą, įvertinant realias sąlygas. Kadangi EN leidžia tai nustatyti ir nacionalinėms institucijoms, todėl priimant tokių apkrovų reikšmes galima naudotis STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“.

3.4. Apkrovos nuo judančių pertvarų

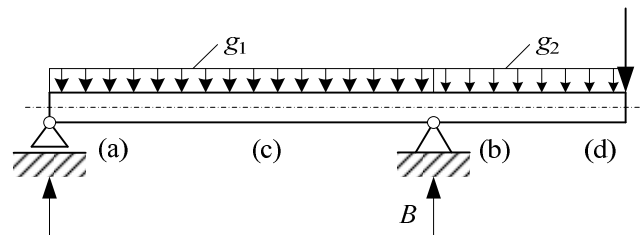
Lengvai stumdomų atitvarų (pertvarų) savasis svoris gali būti priimamas kaip ekvivalentinė apkrova, kuri yra pridedama prie naudojimo apkrovos. Ji priimama kaip tolygiai paskirstyta apkrova ir nustatoma priklausomai nuo stumdomų pertvarų savojo svorio taip:

- stumdomoms pertvaroms, kurių savasis svoris yra nedidesnis kaip 1,0 kN/m sienos ilgiui $q_k = 0,5$ kN/m²;
- stumdomoms pertvaroms, kurių savasis svoris yra nedidesnis kaip 2,0 kN/m sienos ilgiui $q_k = 0,8$ kN/m²;
- stumdomoms pertvaroms, kurių savasis svoris yra nedidesnis kaip 3,0 kN/m sienos ilgiui $q_k = 1,2$ kN/m².

Jeigu pertvaros savasis svoris didesnis kaip 3,0 kN/m sienos ilgiui, reikia priimti tikrąjį svorį, jos pridėjimo vietą ir judėjimo kryptį.

3.1 pavyzdys

Nustatyti dvitramės sijos su gembe kritinius apkrovimo atvejus. Siją veikia trys nepriklausomos nuolatinės apkrovos: sijos savasis svoris ir grindų savasis svoris g_1 ir g_2 ir sutelktoji jėga (12 pav.).

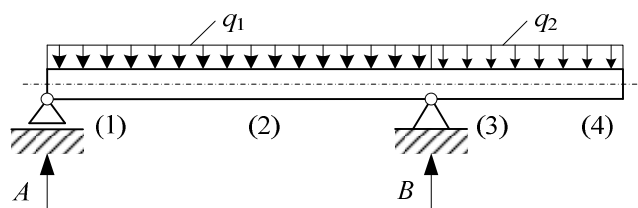


12 pav. Trys nepriklausomos nuolatinės apkrovos g_1 , g_2 ir G

Apkrovos nuo laikančiosios konstrukcijos (sijos, perdangos) ir grindų savojo svorio g_1 ir g_2 yra nepriklausomos nuo atskirai ant gembės galo pastoviai pritvirtinto krūvio G .

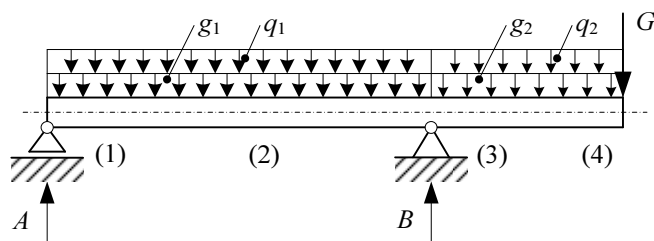
Nuolatinės apkrovos g_1 ir g_2 yra priimamos kaip atskiri poveikiai, tam, kad patikrintumėme pusiausvyros ribinį būvį. Nuolatinių apkrovų charakteristinės reikšmės dėl savojo svorio gali būti vienodos, t. y. $g_{1,k} = g_{2,k} = g_k$, tačiau tikrinant ribinį pusiausvyros būvį gali būti skirtingi daliniai koeficientai ($\gamma_{g,1} \neq \gamma_{g,2}$), iš kurių padauginus $q_{1,k}$ ir $q_{2,k}$, jos nebus lygios.

Naudojimo apkrovos q_1 ir q_2 taip pat yra nepriklausomos, veikiančios visiškai nepriklausomai viena nuo kitos (13 pav.). Esant šioms apkrovoms ir žinomai jų vietai ant konstrukcijos, turi būti tikrinami labiausiai pavojingi apkrovimo atvejai, įvertinant blogiausias apkrovimo situacijas nuo vieno poveikio, neesant kitiems likusiems.



13 pav. Dviejų nepriklausomų apkrovų q_1 ir q_2 išdėstymo schema

Kaip rodo 12 ir 13 paveikslai, konstrukciją veikia bendras savasis ($g_1 + g_2 + G$) svoris ir naudojimo apkrovos (q_1 ir q_2) sudaro pavojingiausią apkrovimo atvejį, norint patikrinti sijos lenkiamąjį stiprumą, skersinę jėgą ties atrama (pjūvis 3) (14 pav.).

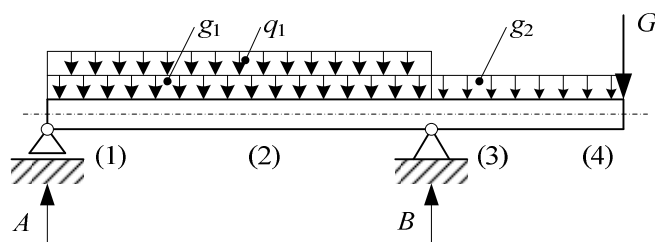


14 pav. Sijos savojo svorio ir naudojimo apkrovų išdėstymo schema

Kiti du apkrovimo atvejai yra tokie:

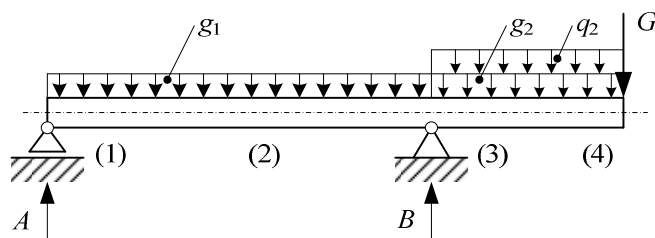
1 – kai naudojimo apkrova yra tarp A ir B atramų ir skirta patikrinti sijos lenkiamąją galią ties viduriu (taškas (2)) (15 pav.);

2 – kai naudojimo apkrova yra ant gembės. Šiuo atveju tai skirta patikrinti sijos statinę pusiausvyrą (16 pav.), A reakcija (taškas (1)) bei taško (4) vertikalių pasislinkimą (įlinkį).



15 pav. Pavojingiausias apkrovimo atvejis skaičiuojant tarpatramio AB (taškas (2)) laikomąją galią

Atvejais, kai yra apkrautos gembės labai svarbu patikrinti statinę pusiausvyrą. Pagal 16 pav. schemą reikia nustatyti reakcijos A veikimo kryptį, kai naudojimo apkrova yra ant gembės. Be to, reikia patikrinti ir lenkiamąjį stiprį taške (3).



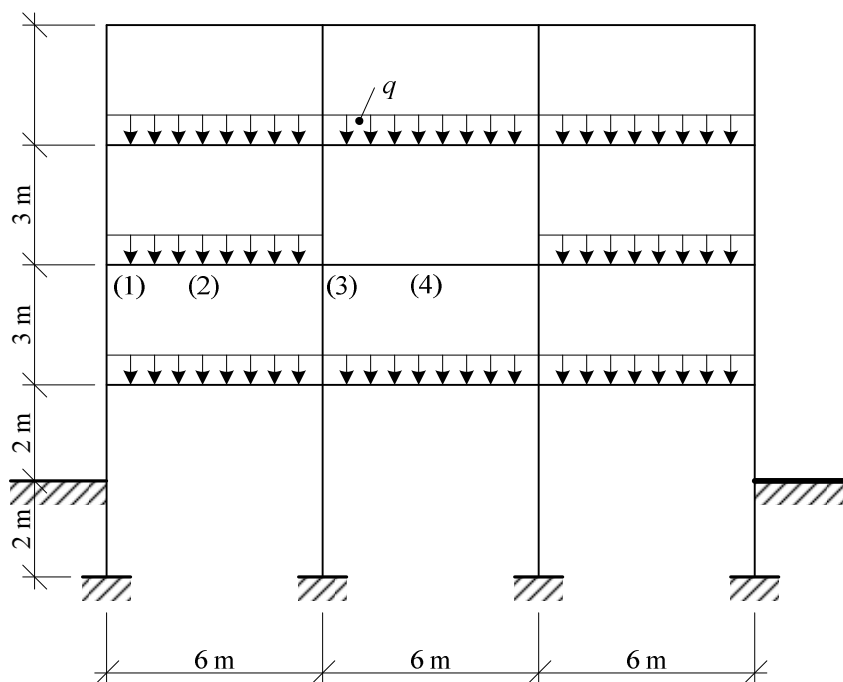
16 pav. Apkrovimo atvejis, tikrinant lenkiamąjį sijos stiprį ties B atrama (taškas(3)) ir nustatant A atramos reakciją

3.5. Daugiaaukščio pastato konstrukcijų apkrovimo atvejai

Projektuojant daugiaaukščio pastato konstrukcijas, galima atsižvelgti į virš skaičiuojamojo aukšto esančių aukštų apkrovų reikšmių sumažinimą. Kitų aukštų apkrovų įtaka žemiau esančio aukšto konstrukcijoms įvertinama redukcijos koeficiento pagalba. Tai nurodyta 11 pav. ir 3.2 formulėje.

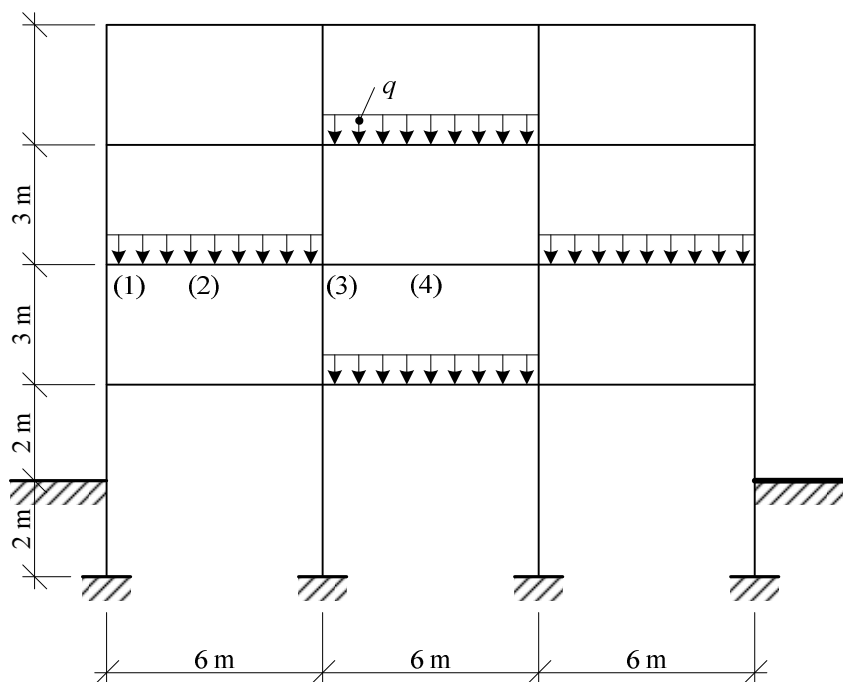
3.2 pavyzdys

Parinkti nepalankiausius apkrovų išdėstymo atvejų, 17 paveiksle pavaizduoto pastato antro aukšto perdangos sijos lenkiamajam stipriui (1) ir (2) taškuose, nustatyti.



17 pav. Naudojimo apkrovos išdėstymo schema, supaprastintai tikrinant sijos lenkiamąjį stiprį (1) ir (2) pjūviuose

Naudojimo apkrovų nepalankiausias išdėstymas pritaikant, supaprastintą apkrovų išdėstymo būdą nustatant stiprį (1) ir (2) taškuose bus, kaip pavaizduota 17 paveiksle. Šis išdėstymo būdas skaičiuojant horizontalias konstrukcijas (sijas), duotuoju atveju antro aukšto sijai niekuo nesiskiria nuo labiau kritinio apkrovų išdėstymo atvejo (18 pav.).



18 pav. Pavojingiausias apkrovų išdėstymo atvejis skaičiuojant lenkiamąjį stiprį (1) ir (2) taškuose

Abu apkrovų išdėstymo būdai nagrinėjamai sijai yra vienodai pavojingi. Tačiau tikrinant lenkiamąjį stiprį (4) taške pagal 17 paveikslo schemą antro aukšto naudojimo apkrova q gali būti išdėstyta pirmajame ir antrajame tarpatramyje, skaičiuojant nuo bet kurio krašto. Tikrinant lenkiamąjį stiprį (4) taške pavojingiausias atvejis bus kai antro aukšto naudojimo apkrova bus talpinama tik viduriniuose tarpatramiuose.

Skaičiuojant žemesniųjų aukštų vertikaliąsias konstrukcijas (kolonas, sienas) virš esančių aukštų naudojimo apkrova priimama kaip tolygiai išskirstyta.

Priklausomai nuo to koks konstrukcinis elementas (sija, plokštė, kolona, siena ir pan.) yra skaičiuojamas, naudojimo apkrova q gali būti mažinama, padauginant iš redukcijos koeficiento α_A (horizontalioms pastato konstrukcijoms) ir α_n (vertikalioms konstrukcijoms) ir apskaičiuojami pagal 3.1 ir 3.2 formules.

Pavyzdžiui, jeigu 17 paveiksle pavaizduoto pastato schemeje yra skaičiuojamas pirmojo iš kairės pusės tarpatramio elemento lenkimo momentas (2) taške naudojimo apkrova q gali būti sumažinta, dauginant iš koeficiento α_A , apskaičiuojamo pagal (3.1) formulę. Jeigu apkrovimo plotas yra 36 m^2 , o A, B, C ir D kategorijoms koeficientas $\psi_0 = 0,7$ ir $A_0 = 10 \text{ m}^2$, tai apkrovų redukcijos koeficientas

$$\alpha_A = \frac{5\psi_0}{7} + \frac{A_0}{A} = \frac{5 \cdot 0,7}{7} + \frac{10}{36} = 0,778.$$

Skaičiuojant pirmojo aukšto koloną arba sieną, naudojimo apkrova gali būti sumažinta, dauginant iš redukcijos koeficiento α_n , apskaičiuojamo pagal (3.2) formulę. Virš šios kolonos esančių aukštų skaičius $n=3$. Tai pavaizduota 17 ir 18 paveiksluose. Kadangi kintamojo poveikio (naudojimo apkrovos) derintinės reikšmės koeficientas ψ_0 taip pat lygus 0,7, tai

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\psi_0}{n} = \frac{2 + 0,7}{3} = 0,9.$$

Tai rodo, kad naudojimo apkrova gali būti sumažinta 10 %.

Jei priimame, kad virš pirmojo aukšto yra 4 arba 5 (ir daugiau aukštų), tai $n=4$ ir $n=5$ ir atitinkamai daugiau. Esant 4 ir 5 aukštams, $\alpha_n=0,85$ ir $\alpha_n=0,82$. Tai rodo, kad kuo didesnis aukštų skaičius, tuo redukcijos koeficientas mažesnis.

Kitoms pastatų naudojimo apkrovų kategorijoms (išskyrus A, B, C, D) redukcijos koeficientas priimamas lygus 1 ($\alpha_n=1$).

4. SNIEGO APKROVOS

4.1. Sniego apkrovos parinkimas

Sniego apkrovų nustatymas, kurio principai pateikti EN 1991–1–3, yra pagrįstas išanalizavus šimtų meteorologinių stočių įvairiose Europos šalyse stebėjimų duomenis. Remiantis ekstremalių dydžių statistika buvo nustatytos ant žemės sniego apkrovos charakteristinės reikšmės. Vadovaujantis šiais plačiais tyrimais yra pateiktas Europos sniego apkrovų žemėlapis, įvertinant ir tarpusavio ryšį tarp antžeminės sniego apkrovos ir žemės paviršiaus virš jūros lygio. EN 1991–1–3 yra nurodyta, kad kiekviena šalis turėdama meteorologinius duomenis už mažesnę kaip 50 metų laikotarpį gali priimti nacionalines sniego apkrovų charakteristines reikšmes s_k . Apdorojus tokius duomenis Lietuvoje buvo paruoštos sniego apkrovų ant žemės žemėlapis (rajonai) (19 pav.) ir jų charakteristinės reikšmės (8 lentelė).

Pagal EN 1991–1–3 sniego apkrova nuolatinėms ir trumpalaikėms skaičiuotinėms situacijoms nustatoma taikant tokią formulę:

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k, \quad (4.1)$$

čia s_k – charakteristinė sniego apkrovos reikšmė nustatoma pagal 8 lentelę priklausomai nuo sniego apkrovos rajono; c_e – sniego apkrovos atodangos koeficientas, priklausantis nuo vietovės topografinės charakteristikos ir jo reikšmės pateiktos 9 lentelėje; c_t – šiluminis koeficientas; μ_i – stogo formos koeficientas.

8 lentelė. Sniego apkrovos ant žemės s_k charakteristinės reikšmės

Sniego rajonas	s_k , kN/m ²
I	1,2
II	1,6



19 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai

9 lentelė. Rekomenduojamos c_e reikšmės

Vietovės topografinė charakteristika	c_e
Neapsaugota nuo vėjo ^a	0,8
Normali ^b	1,0
Apsaugota ^c	1,2

^a Plokščios, lygios vietovės, iš visų pusių neapsaugotos arba truputį apsaugotos aukštesnių statinių arba medžių.
^b Vietos, kuriose vėjas sniegą ant statinių perneša nereikšmingai dėl vietovės savybių, kitų statinių arba medžių.
^c Vietos, kuriose nagrinėjami statiniai yra aiškiai žemesni už supančią vietovę arba supančius medžius ir (arba) supančius aukštesnius statinius.

Paprastai koeficiento c_e reikšmė priimama lygi 1. Tik tais atvejais, kai stogas įrengtas atviroje vietoje ir jis yra apibūdinamas kaip neapsaugotas nuo vėjo, tai šio koeficiento reikšmė gali būti sumažinta iki $c_e=0,8$. Kai stogas apsaugotas nuo vėjo (pvz., šalia esančių aukštų pastatų), jo reikšmė padidinama iki $c_e=1,2$.

Koeficiento c_t reikšmė priklauso nuo šilumos nuostolių per stogą. Dažniausiai $c_t=1$, kai šiluminė izoliacija atitinka standartų reikalavimus. Šio koeficiento reikšmę leidžiama naudoti mažesnę kaip 1,0, bet ji turi būti pagrįsta pastogės ir stogų formų šiluminio laidumo savybėmis.

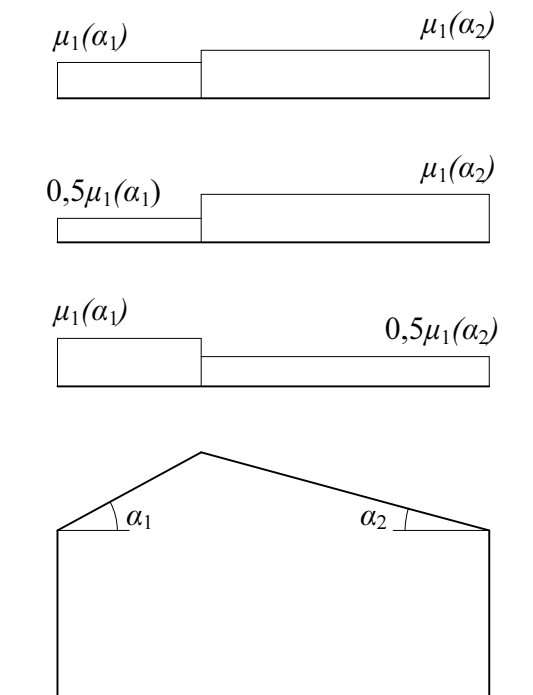
Projektuojant stogo konstrukcijas priimama, kad sniego apkrova veikia vertikaliai į stogo horizontaliąją projekciją.

4.2. Stogo formos įvertinimas

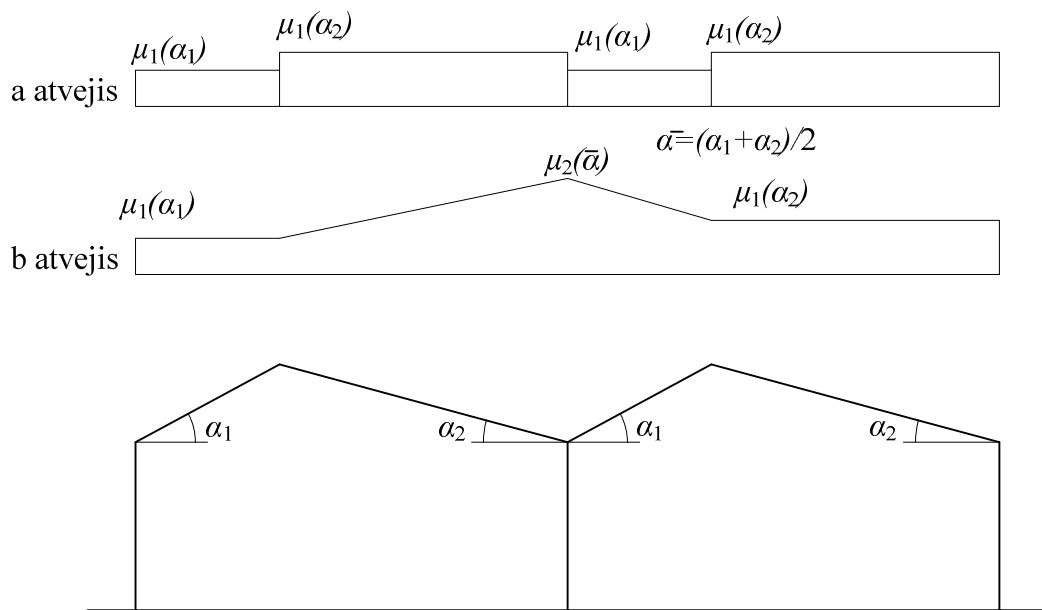
Net ir maži vėjo pūtimo greičiai gali supustyti sniego sankaupas arba sukelti sniego slinkimą net ir ant plokščių stogų. Visa tai gali sukelti sniego apkrovos padidėjimą. Ypač didelę įtaką sniego apkrovos susitelkimui atskirose stogo vietose turi stogo paviršiaus ir aukščių nevienodumai, t. y. stogo forma.

Todėl pagal EN 1991–1–3 yra priimami taip vadinami stogo formos koeficientai μ_i , kurie leidžia įvertinti minėtus sniego susikaupimo veiksnius ir antžemines sniego apkrovų reikšmes pritaikyti įvairios formos stogų sniego apkrovoms apskaičiuoti.

Pagrindinių stogų formų variantai yra įvairūs vienanaviai pastatai su skirtingais šlaitų nuolydžiais (20 pav.) ir daugianaviai (21 pav.).

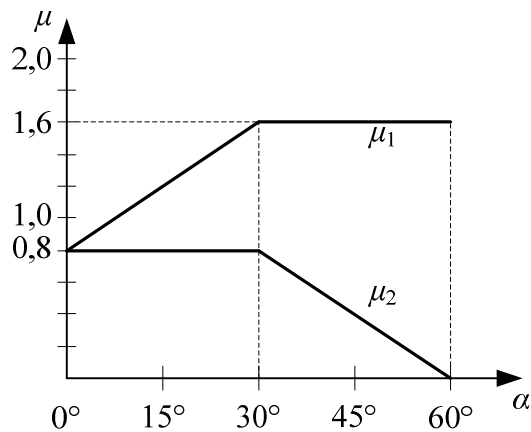


20 pav. Vienanavio dvišlaičio stogo sniego apkrovų išdėstymo variantai



21 pav. Daugianavio dvišlaičio (šedinio) stogo sniego apkrovų išdėstymo variantai

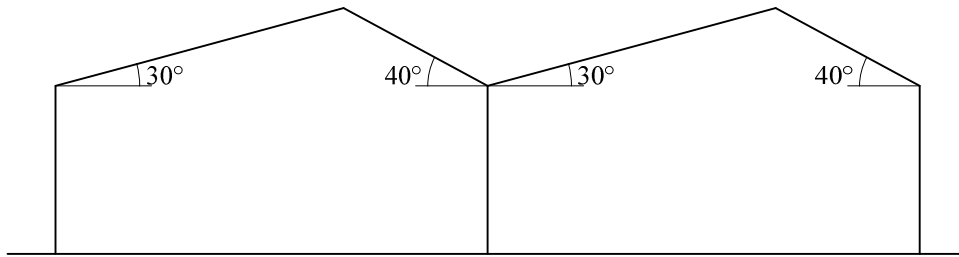
Kaip rodo šie paveikslai, apkrovų reikšmės priklauso nuo stogo nuolydžio kampo α_i ($i=1, 2, 3\dots$). Sąsaja tarp stogo formos koeficiento μ_i ir nuolydžio kampo α_i pateikta 22 paveiksle.



22 pav. Sąsaja tarp stogo formos įvertinimo koeficiento μ ir nuolydžio kampo α

4.1 pavyzdys

Nustatyti brėžinyje pavaizduoto daugianavio stogo nepalankiausias sniego apkrovas. Pastatas projektuojamas Vilniaus mieste. Stogas yra su tinkamai įrengta termoizoliacija ir jos šiluminis koeficientas gali būti priimtas $c_t=1,0$.



Priimama, kad vėjo sąlygos yra normalios. Todėl pagal 9 lentelę koeficientas $c_e = 1,0$. Pagal Lietuvos sniego apkrovų rajonų žemėlapi Vilnius yra II sniego apkrovos rajone (19 pav.). Iš 8 lentelės charakteristinė sniego apkrova ant žemės yra $s_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$. Nustatant stogui apkrovas yra du nepalankiausi atvejai: kai sniegas neslenka (23 pav. a atvejis) ir kai sniegas slenka (23 pav. b atvejis).

Pagal 22 paveikslą nustatomos $\mu_i(\alpha_i)$ reikšmės:

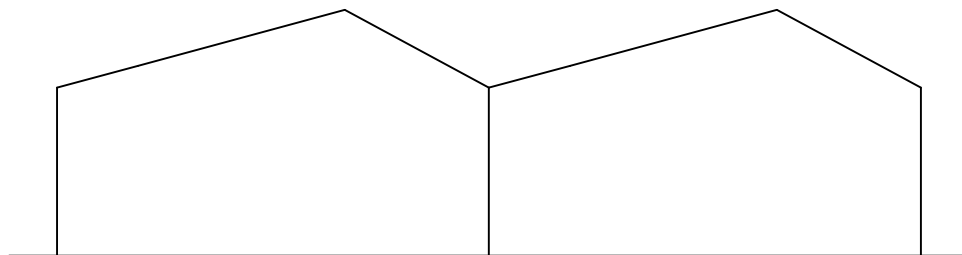
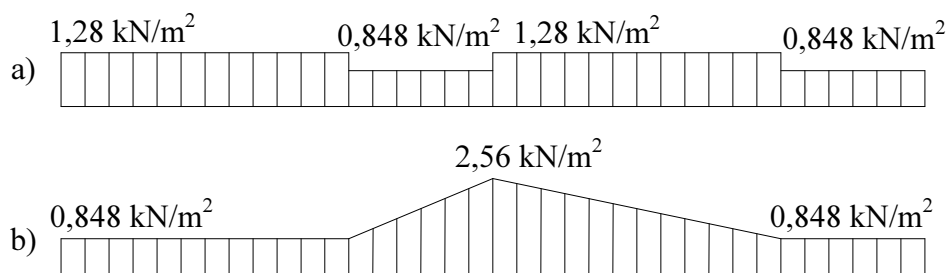
(1) $\mu_1(\alpha_1) = 0,53$; (2) $\mu_1(\alpha_2) = 0,80$; (3) $\mu_2(\alpha) = 1,60$. Tuomet pagal (4.1) formulę:

$$(1) s = \mu_1(\alpha_1) c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,53 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 0,848 \text{ kN/m}^2;$$

$$(2) s = 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ kN/m}^2;$$

$$(3) \mu_2(\alpha) = 1,60; s = 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 2,56 \text{ kN/m}^2.$$

Apskaičiuotos apkrovų reikšmės atitinka apkrovų atvejus, pavaizduotus 21 paveiksle.



23 pav. Sniego apkrovų variantai, priimant neslenkančiojo sniego atvejį (a) ir slenkančiojo (b)

Tai rodo, kad skaičiuojant kraštinio iš dešinės pusės šlaito konstrukcijas, nepalankiausias yra (a) atvejis, o skaičiuojant vidinių šlaitų konstrukcijas, nepalankiausias yra (b) atvejis.

4.3. Stogo formos koeficientai skirtingo aukščio pastatams

Dažni atvejai, kai prie skaičiuojamojo pastato stogo yra prisišliejęs aukštesnio pastato stogas arba skirtingo aukščio pastatai. Tokių pastatų sniego formos koeficientai yra nustatomi naudojantis 24 paveikslo schemomis ir žemiau duodamomis formulėmis.

Jeigu žemesnysis stogas yra plokščias, tai

$$\mu_1 = 0,8 \text{ ir } \mu_2 = \mu_s + \mu_w, \quad (4.2)$$

čia μ_s – sniego apkrovos formos koeficientas, atsižvelgiant į sniego slydimą nuo aukštesnio stogo:

kai $\alpha \leq 15^\circ$, tai $\mu_s = 0$;

kai $\alpha > 15^\circ$, tai μ_s apskaičiuojamas, atsižvelgiant į papildomą apkrovą, kuri imama lygi 50 % didžiausios visuminės ant gretimąjo šlaito aukštesniojo stogo sniego apkrovos kaip šlaitiniam stogui; μ_w – sniego apkrovos koeficientas, kuriuo atsižvelgiama į vėją:

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h \leq \gamma h / s_k, \quad (4.3)$$

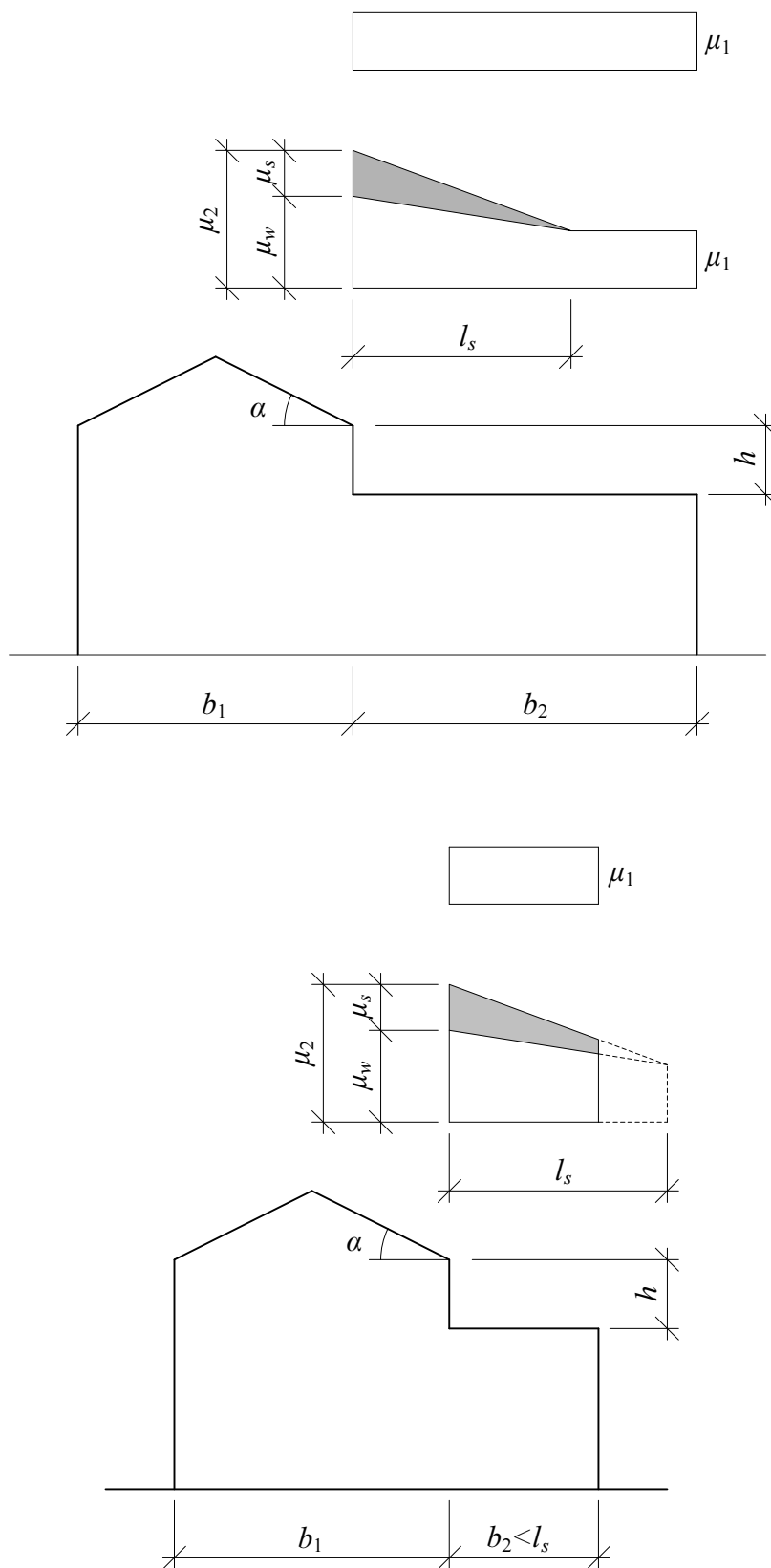
čia γ – sniego svorinis tankis, kurį šiam skaičiavimui galima imti lygų 2 kN/m^3 .

Reikia nustatyti μ_w maksimalią ir minimalią reikšmes ir rekomenduojama priimti $0,8 \leq \mu_w \leq 4$.

Pernešto sniego sąnašos (pusnies) ilgis nustatomas taip:

$$l_s = 2h, \quad 5 \leq l_s \leq 15 \text{ m}. \quad (4.4)$$

Nepernešto sniego apkrovos išdėstymas, kurį reikia taikyti, yra parodytas 24 pav. l_s reikšmė ir pernešto sniego apkrovos išdėstymas gali būti nurodomas ir nacionaliniu lygiu.



24 pav. Stogų, prisišliejusių prie aukštesnių statinių, sniego apkrovos formos koeficientai

4.4. Vietinių iškyšų ir kitų efektų stoguose įvertinimas

Sniego sąnašos ant stogų gali susidaryti:

- prie iškyšų ir kliūčių;
- ties stogo kraštu;
- prie užtvarų sniegui.

Tokiais atvejais taip pat reikia nagrinėti nuolatinę (trumpalaikę) skaičiuotines situacijas.

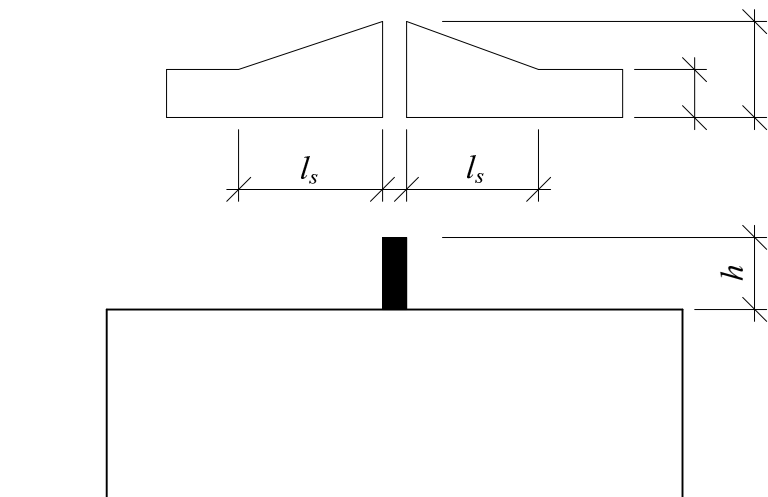
Sniego pusnys gali atsirasti ant bet kokio stogo, jeigu ant jo yra kliūčių, nes pastarosios pučiant vėjui sukelia aerodinaminių šešėlių zonas, kuriose kaupiasi sniegas.

Tariamai horizontalių stogų sniego apkrovos formos koeficientus ir sąnašų (pusnių) ilgius galima nustatyti, jeigu nenustatyta vietos sąlygoms, taip (25 pav.):

$$\mu_1 = 0,8; \mu_2 = \gamma h / s_k \quad (4.5)$$

su apribojimu $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$; čia γ – sniego svorinis tankis, kurį šiam skaičiavimui galima imti lygų 2 kN/m^3 .

$$l_s = 2h, \text{ su apribojimu } 5 \leq l_s \leq 15.$$

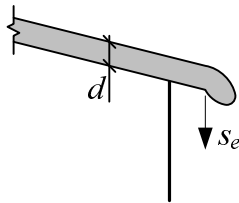


25 pav. Sniego apkrovos formos koeficientai prie iškyšų ir kliūčių

Projektuojant pastato dalis, išsikišusias į išorę už sienų, reikia atsižvelgti į sniegą, kabantį ant stogo krašto, papildomai prie apkrovų, esančių ant tų pastato dalių. Galima imti, kad kabančio sniego apkrova yra pridėta ties stogo kraštu ir jos dydį galima apskaičiuoti taip:

$$s_e = ks^2/\gamma, \quad (4.6)$$

čia s_e – kabančio sniego apkrova vienam ilgio metrui (26 pav.); s – didžiausios nepernešto sniego apkrovos variantas, atitinkantis nagrinėjamąjį stogą; γ – sniego svorinis tankis, kurį šiam skaičiavimui galima imti lygų 3 kN/m^3 ; k – koeficientas sniego formos netaisyklingumui įvertinti. Rekomenduojama k apskaičiuoti taip: $k=3/d$, bet $k \leq d \cdot \gamma$. Čia d – sniego sluoksnio ant stogo storis metrais (26 pav.).



26 pav. Sniegas, kabantis ant stogo krašto

Esant tam tikroms aplinkybėms, sniegas gali slysti žemyn nuo šlaitinio arba kreivojo stogo. Trinties tarp sniego ir stogo koeficientą reikia imti lygų nuliui. Todėl slystančios sniego masės sukeltą F_s jėgą slydimo kryptimi į pastato ilgio vieną metrą reikia apskaičiuoti taip:

$$F_s = s b \sin \alpha, \quad (4.7)$$

čia s – sniego ant stogo apkrova, atitinkanti didžiausios nepernešto sniego apkrovos variantą stogo ruožui, nuo kurio sniegas gali slysti; b – plotis plane (horizontaliai) nuo užtvartos arba kliūties iki kitos užtvartos arba kraigo; α – stogo nuolydis nuo horizontalės.

LST EN 1991–1–3 dar nėra patikslinta kai kurių parametrų reikšmės, kurias galima patikslinti nacionaliniu lygiu. Plačiau apie šiuos ir kitus ypatumus galima rasti LST EN 1991–1–3.

4.5. Apledėjimo apkrovos

Esant šlapdribai ar lietui su atšalimu, statinių konstrukcijos apledėja. Apledėjimo apkrovas būtina įvertinti projektuojant elektros tiekimo ir ryšių oro linijas, antenų stiebų įrenginius ir panašius statinius.

Apledėjimo išskirstytos apkrovos charakteristinė reikšmė apvalaus skerspjūvio elementams iki $\phi \leq 70$ mm (laidai, lynai, stiebų atotampos, vantos ir kt.) i (N/m), nustatoma pagal formulę:

$$i_k = \pi \cdot b \cdot k \cdot \mu_1 \cdot (\phi + b \cdot k \cdot \mu_1) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}. \quad (4.8)$$

Paviršinės apledėjimo apkrovos charakteristinė reikšmė i_k , N/m², kitiems elementams nustatoma pagal formulę:

$$i_k = b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot \rho \cdot g. \quad (4.9)$$

Formulėse (4.7) ir (4.8): b – apledėjimo sienelės storis (mm) viršijamas 1 kartą per 5 metus – 10 mm skersmens apvalaus skerspjūvio elementų, esančių 10 m aukštyje virš žemės paviršiaus, imama iš 10 lentelės, 200 m aukštyje ir aukščiau – iš 11 lentelės. Kitiems pasikartojimų periodams apledėjimo storis imamas pagal nustatyta tvarka patvirtintas specialiąsias technines sąlygas; k – koeficientas, kuriuo įvertinamas apledėjimo sienelės pokytis, atsižvelgiant į apvalaus skerspjūvio elementų skersmenį ir nustatomas iš 12 lentelės; ϕ – laidų, lynų skersmuo (mm); μ_1 – koeficientas, kuriuo įvertinamas apledėjimo storio kitimas atsižvelgiant į apvalaus skerspjūvio elementų skersmenį ir imamas iš 13 lentelės; μ_2 – koeficientas, įvertinantis apledėjimo paviršiaus ploto santykį su bendrojo elemento paviršiaus plotu ir imamas lygus 0,6; ρ – ledo tankis, imamas lygus 0,9 g/cm³; g – laisvojo kritimo pagreitis (m/s²).

10 lentelė. Apledėjimo rajonai

Apledėjimo rajonai (imama iš RSN 156–94, 8.6 lentelės)	I	II	III	IV
Apledėjimo storis b , mm	ne mažiau kaip 6,2	8,5	11,5	14,5

11 lentelė. Apledėjimo storis z aukštyje

Aukštis virš žemės paviršiaus z , m	Apledėjimo sienelės storis b , mm
200	15–20
300	35
400	60

12 lentelė. Koeficientas, įvertinantis apledėjimo storio kitimą priklausomai nuo aukščio

Aukštis virš žemės paviršiaus, m	5	10	20	30	50	70	80
Koeficientas k	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

13 lentelė. Koeficientas, priklausantis nuo apvalaus elemento skerspjūvio skersmens

Laidų, lynų skersmuo, mm	5	10	20	30	50	70
Koeficientas μ_1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Pastabos (10–13 lentelėms):

1. Tarpinės dydžių reikšmės gali būti nustatomos tiesine interpoliacija.
2. Apledėjimo storį ant pakabintų apvalaus skerspjūvio horizontaliųjų elementų (lynų, laidų) galima imti redukuotojo svorio centro aukštyje.
3. Apledėjimo apkrovos apvaliems cilindro formos horizontaliesiems elementams iki 70 mm skersmens, apledėjimo storis, pateiktas 10 lentelėje, sumažinamas 10 %.

4.2 pavyzdys

Apskaičiuoti apledėjimo apkrovą elektros tiekimo oro linijai Vilniuje. Laido skersmuo 10 mm, linijos aukštis virš žemės paviršiaus 10 m.

Apledėjimo išskirstytos apkrovos charakteristinė reikšmė apvalaus skerspjūvio laidams, kurių $d \leq 70$ mm, apskaičiuojama pagal formulę:

$$i = \pi \cdot b \cdot k \cdot \mu_1 \cdot (\phi + b \cdot k \cdot \mu_1) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ = 3,1416 \cdot 11,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot (10 \cdot 10^{-3} + 11,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 1,0) \cdot 0,9 \cdot 10^6 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 3,67 \text{ N/m}.$$

Vilnius priklauso III oro linijų apšalo rajonui. Šiame rajone apšalo storis $b = 11,5$ mm.

$k = 1,0$ – koeficientas, kuriuo įvertinamas apledėjimo sienelės pokytis, atsižvelgiant į apvalaus skerspjūvio elementų skersmenį ir nustatomas iš 12 lentelės, kai laido aukštis virš žemės paviršiaus 10 m; $\phi = 10$ mm – laidų skersmuo; $\mu_1 = 1,0$ – koeficientas, kuriuo įvertinamas apledėjimo storio kitimas, atsižvelgiant į apvalaus skerspjūvio elementų skersmenį $\phi = 10$ mm iš 13 lentelės; μ_2 – koeficientas, įvertinantis apledėjusio paviršiaus ploto santykį su bendruoju elemento paviršiaus plotu ir imamas lygus 0,6; ρ – ledo tankis, imamas lygus $0,9 \text{ g/cm}^3$; g – laisvojo kritimo pagreitis (m/s^2).

5. VĖJO APKROVOS

5.1. Bendrieji nurodymai

Vėjo apkrovų nustatymas ir jų įvertinimas yra svarbi pastato konstrukcijų skaičiavimo dalis. Vėjo poveikiai sukelia trijų tipų atsaką: kvazi- statinį, dinaminį ir aerodinaminį. Šiame vadove dinaminis ir aerodinaminis atsakas nenagrinėjamas, kadangi jie reikalingi tik skaičiuojant kai kurių ypatingų tipų pastatus.

LST EN 1991–1–4 yra skirta nustatyti vėjo poveikiams ir pateikti taisykles ir vertes tokių uždavinių sprendimui:

- projektinės situacijos;
- vėjo prigimtis ir klasifikacija;
- vėjo greitis ir greičio slėgis;
- vėjo poveikiai konstrukcijai;
- slėgio ir jėgos koeficientai.

Pagal šį Europos standartą galima įvertinti vėjo poveikius projektuojant pastatus ir inžinerines konstrukcijas, kurių aukštis iki 200 m. Vėjo poveikiai yra pateikiami visai konstrukcijai arba jos dalims, pvz., apdaro elementams ir jų tvirtinimams.

LST EN 1991-1-4 neapima visų galimų vėjo poveikių sukeltų aspektų. Ypatingos sąlygos, kurios nėra tipinės daugeliui konstrukcijų tipų, kaip kad vietinių šiluminių efektų įtaka vėjo charakteristikoms, nenagrinėjamos. Šiame standarte nėra nuorodų tokiais atvejais: vėjo poveikius spragotiniams bokštams, stiebams ir dūmtraukiams su atotampomis, sukamuosius virpesius (aukšties pastatams su centriniu branduoliu), tilto perdangos virpesius dėl skersinės vėjo turbulencijos, virpesius, kai reikia atsižvelgti į daugiau negu vieną pagrindinę svyravimo formą. Vėjo poveikis nėra pilnai nagrinėjamas kabamiesiems tiltams, jūroje esančioms konstrukcijoms.

14 lentelė. LST EN 1991-1-4 taikymo sritys

Konstrukcija	Apribojimai LST EN 1991-1-4
Pastatai	Aukštis: max. 200 m
Viadukai	Tarpatramis: max. 200 m
Kabamieji tiltai/Vantiniai tiltai	Ypatingi tyrimai
Pėsčiųjų tiltai	Tarpatramis: max. 30 m

Europos vėjo apkrovų standartas yra padalintas į dvi dalis. Pagrindinė dalis pateikia informaciją ir prielaidas bendrosioms konstrukcijoms, kurios nėra jautrios vėjo sukeltiems svyravimams, tai yra čia pateikiamos taisyklės kvazi-statiniam vėjo poveikiui. LST EN 1991–1–4

priede pateikiamos taisyklės nustatyti vėjo poveikiams liaunoms, lengvoms konstrukcijoms, jautrioms aerotampriems efektams dėl sūkurinio srauto (pvz., plieninių kaminų) ir dėl šuoliavimo ir plazdėjimo (pvz., tiltų dangos). Aukštesnių svyravimo formų sukeltas konstrukcijos atsakas negali būti įvertintas pagal LST EN 1991-1-4.

Pagal LST EN 1991-1-4 kvazi-statinis atsakas turi būti naudojamas visoms konstrukcijoms, tuo tarpu kai daugumai konstrukcijų dinaminio ir aerotampraus atsako vertinti nereikia.

5.2. Vėjo greitis ir vėjo slėgis

Vėjo viršūninio greičio slėgio charakteringoji reikšmė q_p yra vienas iš pagrindinių parametru įvertinant vėjo poveikį konstrukcijai. Šis parametras faktiškai yra charakteringasis slėgis atitinkantis netrikdomo (ramaus) vėjo greitį. Viršūninį vėjo greitį ir greičio slėgį sudaro vidutinis ir pulsacinis komponentai. Vėjo viršūninio greičio slėgio q_p charakteringoji reikšmė priklauso nuo regioninio vėjinio klimato, lokalinių faktorių (pvz. vietovės šiurkštumo ir kalnuotumo ir aukščio virš vietovės).

Įvairiems Europos regionams/šalims vėjinis klimatas yra apibūdinamas dydžiais susietais su charakteringąja 10 minučių vėjo greičio vidutine reikšme 10 m aukštyje virš žemės paviršiaus žemoje augalijoje (vietovės kategorija II). Ši charakteringoji reikšmė, kurios metinio viršijimo tikimybė yra 0,02, atitinka 50 metų kartojimosi periodą. LST EN 1991-1-4 šis kintamasis pavadintas svarbiausia pagrindinio vėjo greičio reikšme $v_{b,0}$. Pagrindinis vėjo greitis v_b Europos Sąjungos šalyse gali būti nustatomas pagal tokią bendrą formulę:

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}, \quad (5.1)$$

čia $v_{b,0}$ – svarbiausia pagrindinė vėjo greičio reikšmė; v_b – pagrindinis vėjo greitis; c_{dir} – krypties koeficientas; c_{season} – metų laiko koeficientas.

Pagrindinė vėjo greičio reikšmė duota 15 lentelėje, pagal Lietuvos vėjo apkrovos rajonus (27 pav.).

15 lentelė. Svarbiausios pagrindinio vėjo greičio reikšmės $v_{b,0}$

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



Žymenys:

I, II, III – vėjo apkrovos rajonai

Pastaba: vėjo apkrovos rajonų ribos nustatomos pagal administracinio rajono ribas.

27 pav. Lietuvos vėjo apkrovos rajonai

Vėjo krypties faktorius c_{dir} įvertina faktą, kad ypatingoms vėjo kryptims dydis v_b gali būti sumažintas, tuo tarpu kai metų laiko koeficientas c_{season} įvertina tai, kad laikinoms konstrukcijoms ypatingais periodais tikimybė, kad bus aukštos vėjo greičio reikšmės, yra maža. Dėl paprastumo krypties faktorius c_{dir} ir sezono faktorius c_{season} bendruoju atveju yra lygus 1,0. Europos vėjo žemėlapis pateiktas 28 paveiksle.

Žemiau pateikta tarpusavio ryšio priklausomybė tarp pagrindinio vėjo greičio ir pagrindinio vėjo greičio slėgio:

$$q_b = \frac{\rho}{2} v_b^2 \quad (5.2)$$

čia ρ – oro tankis (gali būti priimtas $1,25 \text{ kg/m}^3$).

Taigi šis dydis išreiškia 10 min vidutinį vėjo greičio slėgį (vėjo turbulencija neįvertinama), atitinkame 10 metrų aukštyje atviroje vietovėje su 50 metų kartojimosi periodu.

Pagrindinis greičio slėgis transformuojamas pagal atitinkamą nagrinėjamos konstrukcijos aukštį. Greitis atitinkame aukštyje ir šuorai (pliūpsniai) priklauso nuo vietovės šiurkštumo. Šiurkštumų faktorius, apibrėžiantis greičio variaciją pagal aukštį, turi būti nustatytas tikslu, kad gauti vidutinį vėjo greitį atitinkame aukštyje:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (5.3)$$

čia $v_m(z)$ – vidutinis greitis; $c_r(z)$ – šiurkštumo koeficientas; $c_0(z)$ – kalnuotumo koeficientas.

Tuo atveju, kai konstrukcijos yra dislokuotos aukštumose (pvz., kalnai), gali būti įvertintas greičio padidėjimas nustatant ypatingą kalnuotumo koeficientą $c_0(z)$. Bendru atveju šis koeficientas priimamas 1,0.

Šiurkštumo koeficientas susietas su mažiausiu aukščiu $z_{\min}$, kuris apskaičiuojamas pagal

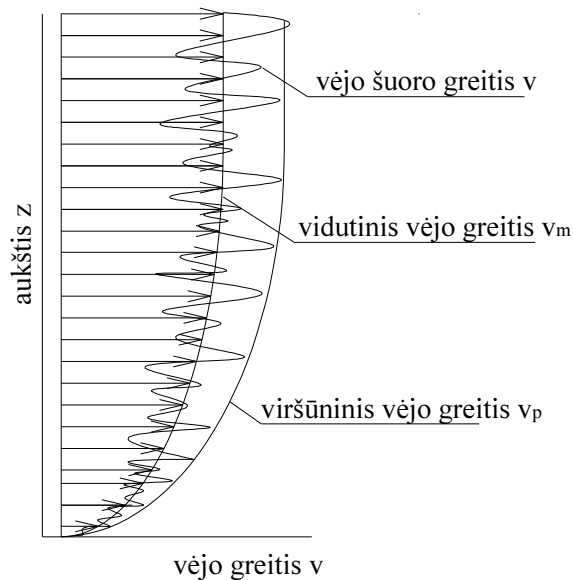
$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0), \text{ bet } z \geq z_{\min}, \quad (5.4)$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}, \quad (5.5)$$

čia k_r – vietovės koeficientas, priklausantis nuo šiurkščiojo ruožo ilgio z_0 ; z_0 – šiurkščiojo ruožo ilgis; $z_{0,II}$ – 0,05, šiurkščiojo ruožo ilgis II vietovės kategorijai (16 lentelė); $z_{\min}$ – mažiausias aukštis, pateiktas 16 lentelėje.



28 pav. Europos vėjo svarbiausių pagrindinio vėjo greičio $v_{b,0}$ reikšmių žemėlapis (tik nurodantys dydžiai)



29 pav. Vėjo greičio variacija priklausomai nuo aukščio z

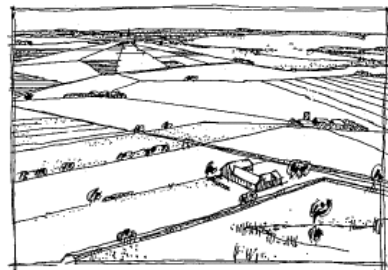
Dydžiai, įeinantys į aukščiau paminėtas formules, yra nustatomi priklausomai nuo atitinkamo vietovės šiurkštumo.

16 lentelė. Vietovės kategorijos ir vietovės parametrai

Vietovės kategorija	Vietovės charakteristika	z_0 , m	z_{min} , m
0	Atviri jūros ar jūros pakrančių ruožai	0,003	1,0
I	Ežerai ir plokšti horizontalūs ruožai su nežymia augalija ir be kliūčių	0,01	1,0
II	Mažai augmenijos; izoliuotos kliūtys atstumais bent 20 kartų didesniais už kliūčių aukštį	0,05	2,0
III	Reguliari augmenija; miškai; priemiesčiai; kaimai	0,3	5,0
IV	Bent 15% paviršiaus užstatyta pastatais, kurių vidutinis aukštis bent 15 m	1,0	10,0

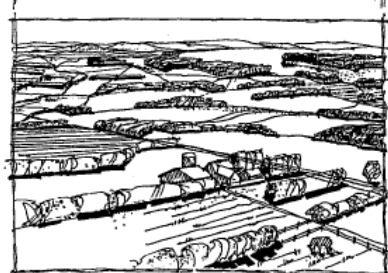
I vietovės kategorija

Ežerai arba plotai beveik be augalijos ir be kliūčių



II vietovės kategorija

Žemos augalijos, pvz., žolės, ir atskirų kliūčių (medžių, pastatų), nutolusių viena nuo kitos bent per 20 kliūčių aukščių, plotai



III vietovės kategorija

Įprastine augalija apaugę arba pastatais užstityti, arba atskirų kliūčių, nutolusių viena nuo kitos ne daugiau nei 20 kliūčių aukščių, plotai (pvz., kaimai, priemiesčių vietovės, ištisas miškas)



IV vietovės kategorija

Plotai, kurių ne mažiau nei 15 % paviršiaus užstatyta pastatais, kurių vidutinis aukštis yra didesnis nei 15 m



30 pav. Kiekvienos vietovės kategorijos paviršiaus šiurkštumo iliustracijos

Viršūninis (arba šuoro) greitis $v_p(z)$ atskaitos aukščiui nagrinėjamos kategorijos vietai apskaičiuojamas pagal vidutinį greitį ir šuoro faktorių G :

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot G \quad (5.6)$$

čia

$$G = \sqrt{c_e(z)} = \sqrt{1 + 7 \cdot I_v(z)} = \sqrt{1 + 7 \cdot \frac{\sigma_v(z)}{v_m(z)}} = \sqrt{1 + \frac{7 \cdot k_I}{c_0(z \cdot \ln(z/z_0))}}, \text{ kai } z \geq z_{min} \quad (5.7)$$

čia k_I – turbulencijos koeficientas (paprastai priimamas 1,0).

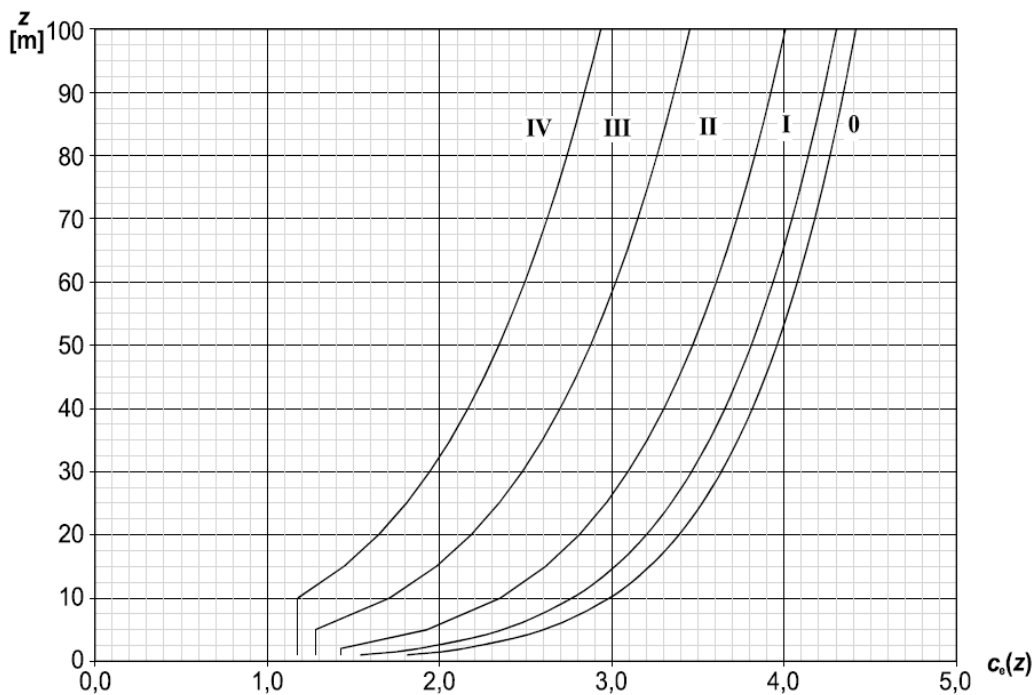
Kaip kad nurodyta aukščiau šuoro faktorius atitinka kvadratinę šaknį iš ekspozicijos koeficiento. Tokiu būdu gaunama tokia išraiška nustatyti viršūninį greičio slėgį atskaitos aukščiui:

$$q_p(z) = q_b(z) \cdot [c_r(z)]^2 \cdot [c_0(z)]^2 \cdot \left[1 + \frac{7 \cdot k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \right], \quad (5.8)$$

kuris supaprastintu atveju esant bendrajai prielaidai $c_0(z) = k_I = 1,0$ yra:

$$\underbrace{q_p(z)}_{\text{viršūninis greičio slėgis}} = \underbrace{q_b}_{\text{pagrindinis greičio slėgis}} \cdot \underbrace{[c_r(z)]^2}_{\text{šiurkštumo koeficientas}} \cdot \underbrace{\left[1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)} \right]}_{\text{kvadratinės šaknies faktorius}}. \quad (5.9)$$

Plokščios vietovės, kai $c_0(z)=1,0$ ir $k_I=1,0$ dydžio $[c_r(z)]^2 [1 + 7/\ln(z/z_0)]$ priklausomybės nuo aukščio ir vietovės kategorijos pateiktos 31 paveiksle.



31 pav. Ekspozicijos koeficiento $c_e(z)$ kitimas, kai $c_0=1,0$ ir $k_I=1,0$

5.3. Vėjo slėgis nustatant konstrukcijos kvazi-statinį atsaką

LST EN 1991-1-4 pateiktos taisyklės ne tik nustatyti vėjo slėgį w_e į konstrukcijos išorinį paviršių, bet ir įvertinti vidinį vėjo slėgį w_i tuo atveju kai apvalkale yra ertmės. Abu vėjo slėgio tipai

priklauso nuo nagrinėjamos konstrukcijos geometrijos. Papildomai pažymėtina, kad vidinis slėgis kinta priklausomai nuo pastato angų santykio:

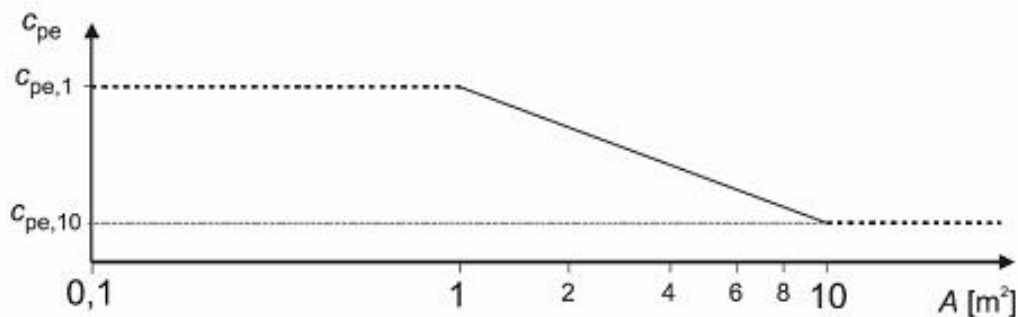
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (5.10)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}, \quad (5.11)$$

čia w_e – išorinis slėgis; w_i – vidinis slėgis; c_{pe} – išorinio slėgio koeficientas; c_{pi} – vidinio slėgio koeficientas; z_e ; z_i – atitinkamų išorinio ir vidinio slėgių atskaitos (vertinamas) aukštis pateiktas 5 skyriuje.

Abu, išorinis ir vidinis, vėjo slėgiai yra apibrėžiami kaip veikiantys statmenai pastato paviršiui.

Dėl to, kad atitinkamo viršūninio slėgio padidėjimas yra susietas su paviršiaus ploto sumažėjimu LST EN 1991-1-4 pateikia išorinio slėgio koeficientus funkcionaliai priklausomus nuo atitinkamo apvalkalo dydžio (32 pav.): kai kuriais atvejais slėgio koeficientai sumažėja.

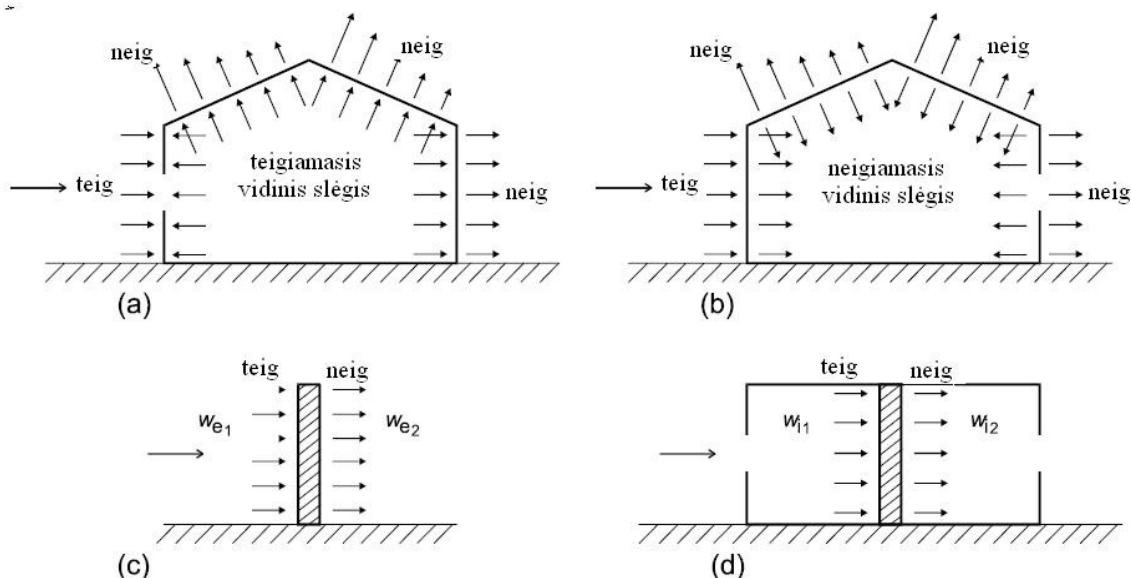


Paveikslas pagrįstas tuo, kad:

kai $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$, tai $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$

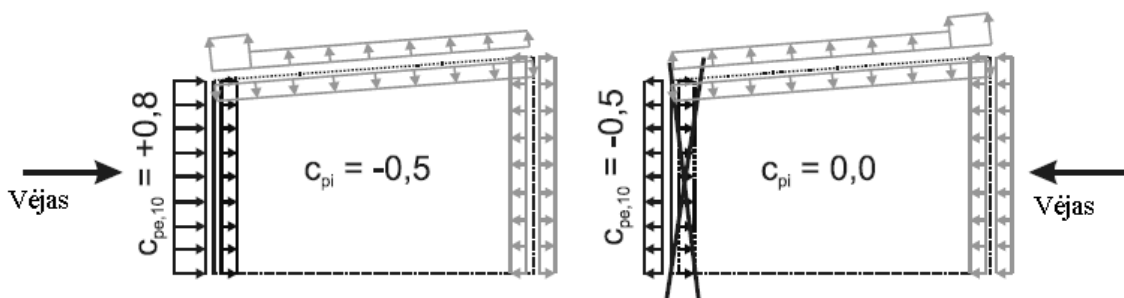
32 pav. Rekomenduojamoji procedūra pastatų apkrautųjų plotų A tarp 1 m^2 ir 10 m^2 išorinio slėgio koeficientui c_{pe} nustatyti

Slėgis nukreiptas į paviršių yra teigiamasis, ir siurbimas, nukreiptas nuo paviršiaus yra neigiamasis (33 pav.). Jei abu, vidinis ir išorinis vėjo slėgiai yra taikomi, jie turi būti sumuojami atsižvelgiant į ženklus, jei projektuojant jų efektas yra pavojingas (34 pav.).



33 pav. Slėgiai į paviršius

Išorinio slėgio koeficientas c_{pe} turi būti parinktas atsižvelgiant į konstrukcijos geometriją. Vidinio slėgio koeficientas c_{pi} turi būti parinktas atsižvelgiant į pastato paviršiaus angų santykį. Jei nėra galimybės įvertinti pastato angų santykį, tada c_{pi} imamas lygus +0,2 ir -0,3, žiūrint, kuris yra nepalankesnis.



34 pav. Vėjo apkrova į apdarą. Išorinis slėgis sumuojamas su vidiniu slėgiu, kai apdaras yra priešvėjinėje pusėje (c_{pi} yra nepalankus); kai apdaras yra pavėjinėje pusėje, c_{pi} priimamas 0,0)

5.4. Vėjo sukeltos jėgos nustatymas

Vėjo atstojamoji jėga gali būti nustatyta integruojant vėjo slėgį visame plote arba panaudojant atitinkamus jėgos koeficientus, kurie yra pateikiami LST EN 1991-1-4 įvairioms konstrukcijoms. Ten yra pažymėta, kad daugeliui konstrukcijų jėgos koeficientai sąlygoja

tikslesnius rezultatus lyginant su gautais integruojant slėgio koeficientus. Vėjo atstojamoji jėga F_w yra gaunama panaudojant lygtį:

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.12)$$

čia F_w – vėjo atstojamoji jėga; c_s – mastelio koeficientas; c_d – dinaminis koeficientas konstrukcijoms, jautrioms vėjo sukeltiems virpesiams; c_f – konstrukcijos ar konstrukcinio elemento jėgos koeficientas; A_{ref} – konstrukcijos ar konstrukcinio elemento atskaitos plotas, pateiktas 7 ar 8 skyriuose; $q_p(z_e)$ – viršūninio greičio slėgis (žr. LST EN 1991–1–4 4.5 skirsnį) atskaitos aukštyje z_e (žr. EN 1991–1–4 7, 8 skyriuose).

Konstrukcijoms, kurios nėra jautrios turbulencijos sukeltiems virpesiams, kvazi-statinis atsakas yra lemiantis. Tada mastelio ir dinaminis koeficientai yra fiksuoti dydžiai ir lygūs $c_s=c_d=1,00$. Kaip kad buvo paminėta aukščiau, tik kvazi-statinis atvejis nagrinėjamas šiame tekste.

Ypatingais sudėtingų konstrukcijų atvejais, kaip pvz., santvaroms arba konstrukcijoms kur slėgio pasiskirstymas priklauso nuo Reinoldso skaičiaus (tai yra nuo santykio inercijos jėgos su tekėjimo trinties jėga) taip yra kreiviams paviršiams kaip, kad cilindrams, sferoms, rekomenduojama naudoti jėgos koeficientus vietoj slėgio koeficientų integravimo. Tada skaičiavimuose nagrinėjant jėgos koeficientus sutaupoma laiko ir tiksliau įvertinami vėjo efektai.

Vėjo jėgos koeficientai ne tik ypatingoms konstrukcijoms, bet ir stačiakampiams/daugiakampiams elementams ir kreivalininiams elementams nustatomi skirtingai.

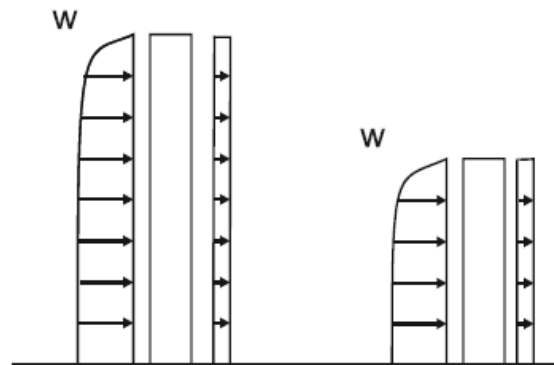
Stačiakampėms/daugiakampėms formoms jėgos koeficientai nustatomi pagal:

$$c_f = c_{f0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda \quad (5.13)$$

čia c_{f0} – stačiakampių skerspjūvių su aštriais kampais be laisvojo galo tėkmės (žr. LST EN 1991–1–4 7.23 pav.) konstrukcijų ar konstrukcijos elementų jėgos koeficientas; Ψ_r – stačiakampių skerspjūvių apvalintais kampais redukcijos koeficientas. Jis priklauso nuo Reinoldso skaičiaus; Ψ_λ – konstrukcinių elementų su laisvo galo tėkme (žr. LST EN 1991–1–4 7.13 pav.) laisvo galo koeficientas.

Dydis Ψ_r įvertina faktą, kad vėjo slėgis užapvalintuose kampuose yra mažesnis palyginus su stačiais kampais kas sudaro didesnes kliūtis tekėjimui. Savo ruožtu tai sumažina vėjo jėgos reikšmę konstrukcijoms su užapvalintais kampais. Dar daugiau, nepriklausomai nuo kampo formos per koeficientą Ψ_λ įvertinama, kad konstrukcijos viršuje susidaręs vėjo slėgis yra mažesnis už vidutinę

jo reikšmę į vidinį paviršių. Šis sumažėjimas santykinai mažėja didėjant konstrukcijos laibumui (35 pav.).



35 pav. Santykinė tekėjimo įtaka vėjo atstojamajai jėgai į konstrukcijos briauną yra mažesnės laiboms konstrukcijoms palyginus su kompaktiškėmis konstrukcijomis

Jėgos koeficientas cilindrams yra nustatomas pagal:

$$c_f = c_{f0} \cdot \psi_\lambda \quad (5.14)$$

čia c_{f0} – konstrukcinių elementų be laisvojo galo tėkmės jėgos koeficientas (žr. 49 pav.), nevertinant laisvojo galo tėkmės efekto; ψ_λ – galinio efekto koeficientas, (žr. LST EN 1991–1–4 7.13 pav.).

Jėgos koeficientas sferoms nustatomas pagal atitinkamą Reinoldso skaičių: $Re = b \cdot v(z_e) / \nu$ (čia b – skersmuo, ν – oro klampumas – $15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Papildomai prie bendrųjų paviršiaus tipų pateikti jėgos koeficientai 17 lentelėje išvardintiems konstrukciniams elementams.

17 lentelė. Atskiri konstrukciniai elementai, kuriems pateikti jėgos koeficientai

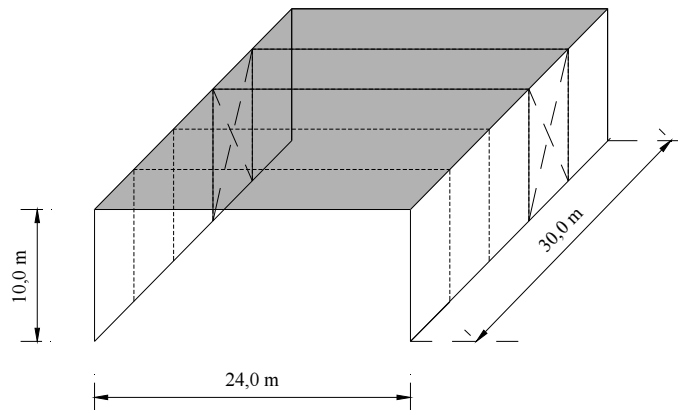
Konstrukcija	c_f priklauso nuo
Spragotosios konstrukcijos ir pastoliai	Galo-efektas, Re -No, vientisumo santykis*, elemento skerspjūvis
Vėliavos	Galo-efektas, masė ploto vienetui
Tiltai	Sekcijos aukščio ir pločio santykis, nuokrypis nuo vertikalės, sekcijos forma, kelia apribojančios sistemos pralaidumas
Aštrių kraštų skerspjūvio konstrukciniai elementai	Galo-efektas,

* santykis tarp nepralaidaus ploto su visu konstrukcijos plotu

5.5. Pavyzdžiai

5.1 pavyzdys. Pramoninio pastato vėjo slėgis

Apskaičiuojame vėjo slėgį tipinio pramoninio pastato rėmo skaičiavimui.



36 pav. Pramoninio pastato schema

Pagrindinę konstrukciją sudaro šeši rėmai išdėstyti 6,0 m atstumu. Pastato ilgis yra 30,0 m. Kiekvieno rėmo aukštis 10,0 m su tarpatramiu 24,0 m (36 pav.). Yra priimama, kad štormo atveju pastate nėra angų, tai yra vidinio slėgio nėra ir $c_{pi} = 0,0$.

Pastatas bus statomas Vilniuje, kuris priklauso I Lietuvos vėjo greičio rajonui. Svarbiausia pagrindinio vėjo greičio reikšmė 24 m/s (15 lentelė). Pagrindinio vėjo greičio slėgio reikšmė

$$q_b = \frac{\rho}{2} v_b^2.$$

$$q_b = \frac{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} 24^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,36 \text{ kPa},$$

nes $1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$ yra 1N.

Pagal pradinius duomenis atitinkančius III-ai vietovės kategorijai nustatomas vietovės koeficientas k_r pasirinktam atskaitos aukščiui $z_e = 10,0$ m. Šiurkščiojo ruožo ilgis III-ai vietovės kategorijai (žr. 16 lentelė) $z_0 = 0,3$ m, $z_{0,II} = 0,05$ m, mažiausias aukštis $z_{\min} = 5,0$ m.

Vietovės koeficientas

$$k_r = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,22.$$

Šiurkštumo koeficientas

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,22 \cdot \ln(10,0/0,3) = 0,77, \text{ kai } z \geq z_{\min}; 10,0 \geq 5,0.$$

Ekspozicijos koeficientas

$$c_e(10,0) = 1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)} = 1 + 7,0 / (1,0 \cdot \ln(10,0/0,3)) = 3,00.$$

Viršūninis vėjo slėgis

$$q_p(z) = q_p(10,0) = q_b [c_r(z)]^2 \cdot \left[1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)} \right] = 0,36 \cdot 0,77^2 \cdot 3 = 0,64 \text{ kN/m}^2.$$

Pagal 18 lentelę (Stačiakampio plano pastato vertikaliųjų sienų rekomenduojamosios išorinio slėgio koeficientų reikšmės) vertikaliųjų sienų A, B, C, D ir E ruožams (37 pav.) nustatyti išorinio slėgio koeficientai c_{pe} pateikti 39 pav.

18 lentelė. Stačiakampio plano pastatų vertikaliųjų sienų rekomenduojamosios išorinio slėgio koeficientų reikšmės

Ruožas	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Pagal 19 lentelę (Plokščiųjų stogų išorinio slėgio koeficientai) nustatyti plokščiojo stogo su aštriomis briaunomis ruožams F, G, H ir I (38 pav.) išorinio slėgio koeficientai c_{pe} pateikti 39 pav.

19 lentelė. Plokščiųjų stogų išorinio slėgio koeficientai

Stogo tipas		Ruožas							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Aštrios atbrailos		- 1,8	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
Su parapetais	$h_p/h=0,025$	- 1,6	- 2,2	- 1,1	- 1,8	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
	$h_p/h=0,05$	- 1,4	- 2,0	- 0,9	- 1,6	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
	$h_p/h=0,10$	- 1,2	- 1,8	- 0,8	- 1,4	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
Kreivinės atbrailos	$r/h = 0,05$	- 1,0	- 1,5	- 1,2	- 1,8	- 0,4		+0,2	- 0,2
	$r/h = 0,10$	- 0,7	- 1,2	- 0,8	- 1,4	- 0,3		+0,2	- 0,2
	$r/h = 0,20$	- 0,5	- 0,8	- 0,5	- 0,8	- 0,3		+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
Mansardos atbrailos	$\alpha = 30^\circ$	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	- 0,3		+0,2	- 0,2
	$\alpha = 45^\circ$	- 1,2	- 1,8	- 1,3	- 1,9	- 0,4		+0,2	- 0,2
	$\alpha = 60^\circ$	- 1,3	- 1,9	- 1,3	- 1,9	- 0,5		+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2

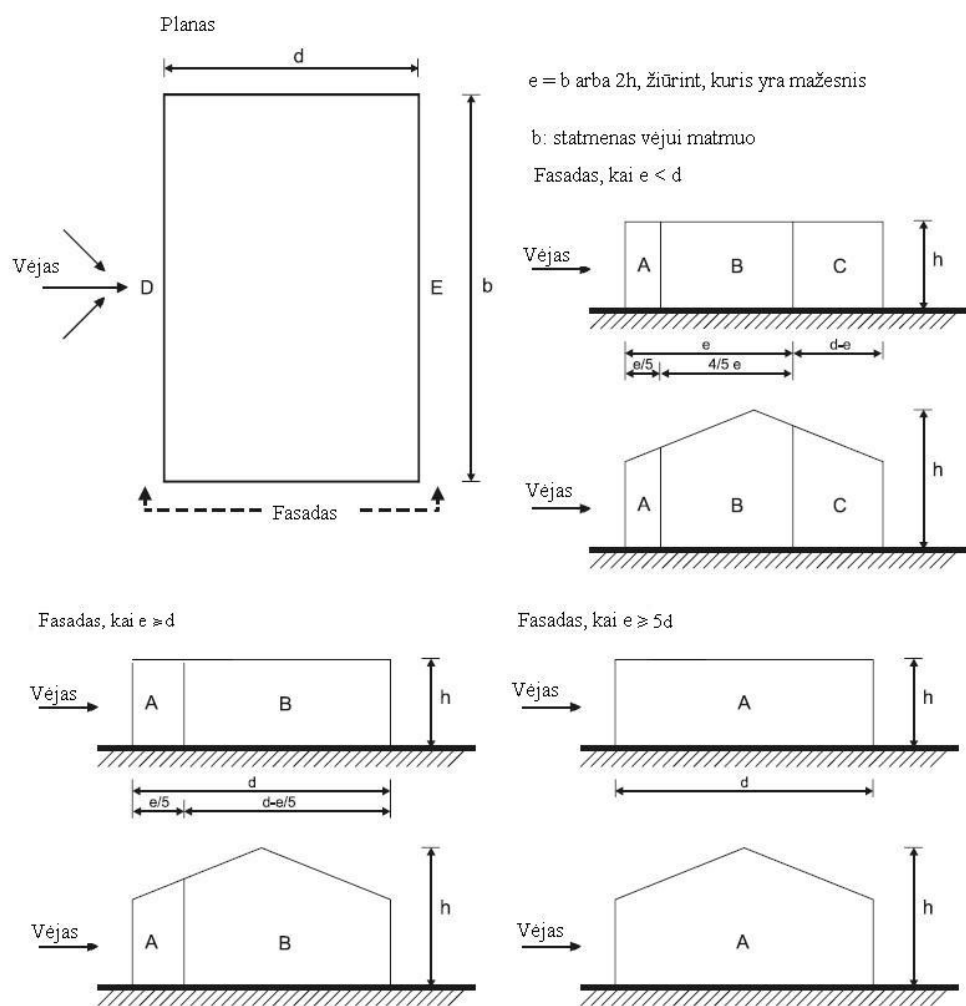
1 PASTABA Stogų su parapetais ir kreivinėmis atbrailomis tarpinėms h_p/h ir r/h reikšmėms galima taikyti tiesinę interpoliaciją.

2 PASTABA Stogų su mansardos atbrailomis tarp $\alpha = 30^\circ$, 45° ir $\alpha = 60^\circ$ reikšmių galima taikyti tiesinę interpoliaciją. Kai $\alpha > 60^\circ$, galima taikyti tiesinę interpoliaciją tarp $\alpha = 60^\circ$ reikšmių ir plokščiųjų stogų su aštriomis atbrailomis reikšmių.

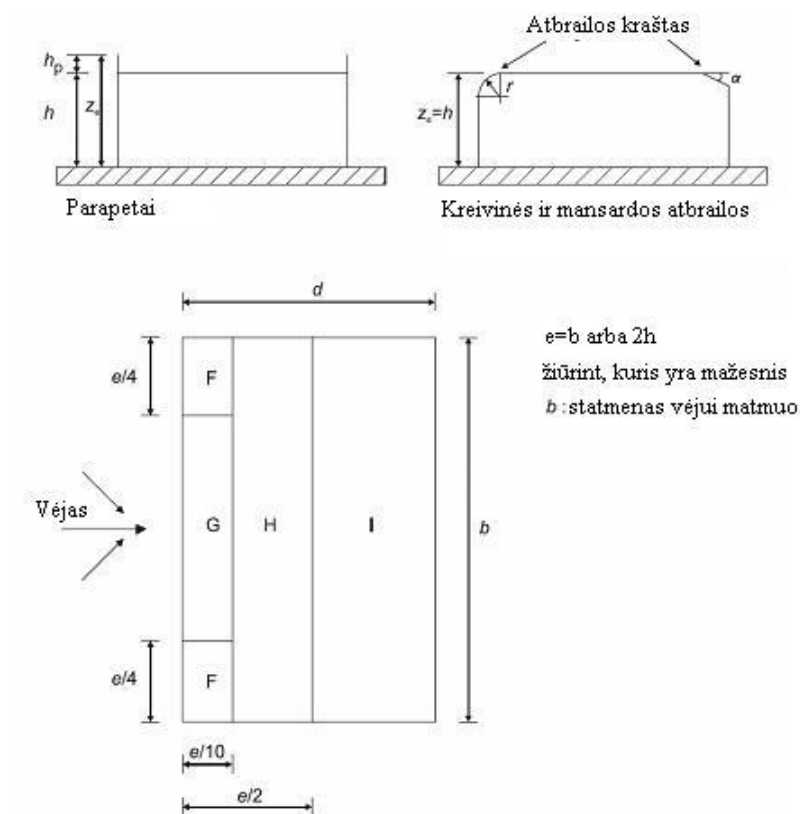
3 PASTABA I ruožo, kurio pateiktos reikšmės yra teigiamosios ir neigiamosios, reikia taikyti abi reikšmes.

4 PASTABA Pačių mansardos atbrailų išorinio slėgio koeficientai pateikti 7.4a lentelėje „Dvišlaičių stogų išorinio slėgio koeficientai: vėjo kryptis 0° “, F ir G ruožai, atsižvelgiant į mansardos atbrailos nuolydžio kampą.

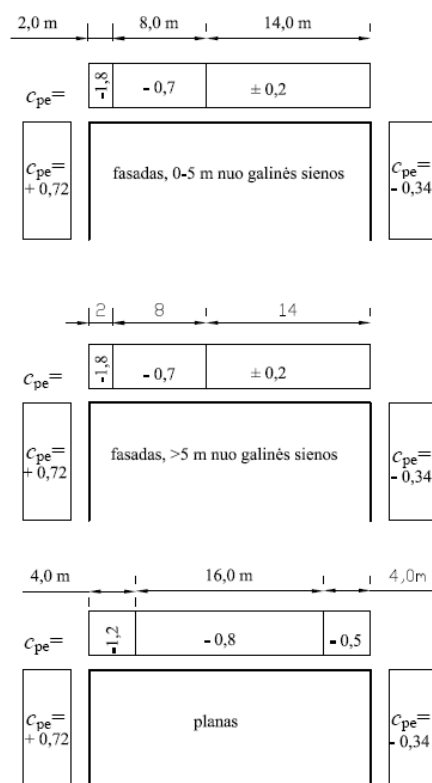
5 PASTABA Pačių kreivinių atbrailų išorinio slėgio koeficientai pateikti tiesine interpoliacija išilgai kreivės tarp sienos ir stogo reikšmių.



37 pav. Vertikaliųjų sienų paaiškinimas

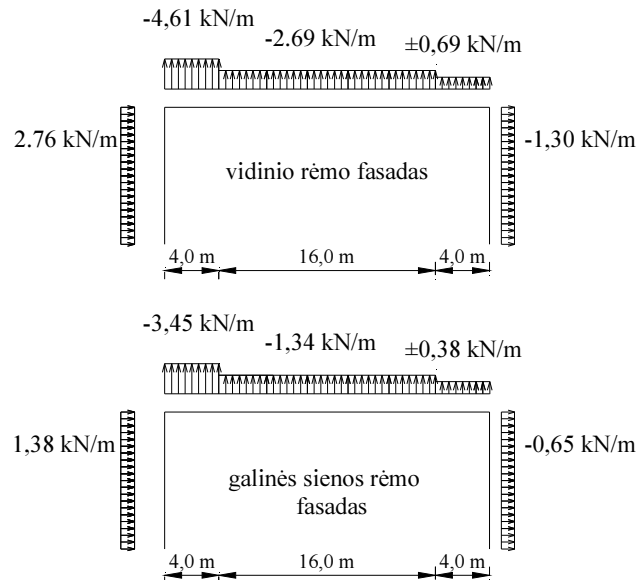


38 pav. Plokščiųjų stogų paaiškinimas



39 pav. Išorinio slėgio koeficientai pagal LST EN 1991-1-4

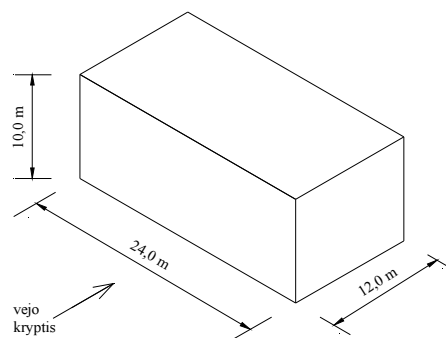
Vėjo apkrovų charakteristinės reikšmės nustatomos kombinuojant slėgio koeficientus su viršūniniu vėjo greičio slėgiu. Sienos D ruože vėjo apkrova tenkanti 1 m^1 rėmo bus $0,64 \cdot 0,72 \cdot 6,0 = 2,76 \text{ kN/m}$. Vėjo apkrovų charakteringi dydžiai $[\text{kN/m}]$ pateikti 40 pav.



40 pav. Vėjo apkrovų charakteringi dydžiai $[\text{kN/m}]$ vidiniams rėmams (viršuje) ir rėmų galinei sienai (apačioje)

5.2 pavyzdys. Vėjo slėgis į stačiakampį pastatą su plokščiu stogu

41 pav. parodytas paprastas stačiakampis pastatas su plokščiu stogu. Jo matmenys yra: aukštis 10 m, plotis 12 m ir ilgis 24 m. Pastatas yra plokščioje II kategorijos vietovėje. Svarbiausia pagrindinio vėjo greičio reikšmė 28 m/s. Vėjo jėgos į pagrindinę konstrukciją pagal 41 pav. parodytą vėjo kryptį, bus panagrinėtos detaliau.



41 pav. Paprastas stačiakampis pastatas su plokščiu stogu

Vėjo jėgas apskaičiuojame pagal paviršiaus slėgius. Vėjo slėgiui apskaičiuoti nustatome slėgio koeficientus. Trinties jėgos F_{fr} yra nevertinamos. Vėjo atstojamoji jėga F_w į konstrukciją nustatoma taip:

išoriniams slėgiams:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum w_e(z) \cdot A_{ref}(z), \quad (5.15)$$

vidiniams slėgiams:

$$F_{w,i} = \sum w_i(z) \cdot A_{ref}(z). \quad (5.16)$$

Sumavimas atliekamas vektoriškai įvertinant vėjo slėgių, veikiančių pastatus, $w_e(z)$ ir $w_i(z)$ erdvinis pasiskirstymus nustatytus pagal LST EN 1991-1-4 5.2 skirsnį. Rezultate gautos tokios lygtys vėjo jėgoms įvertinti:

išoriniams slėgiams:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}(z), \quad (5.17)$$

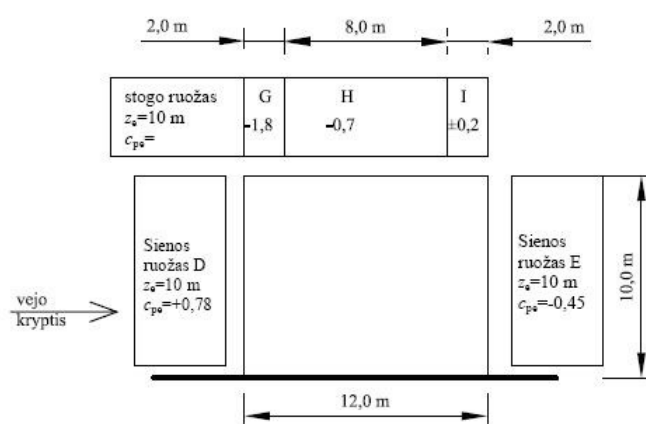
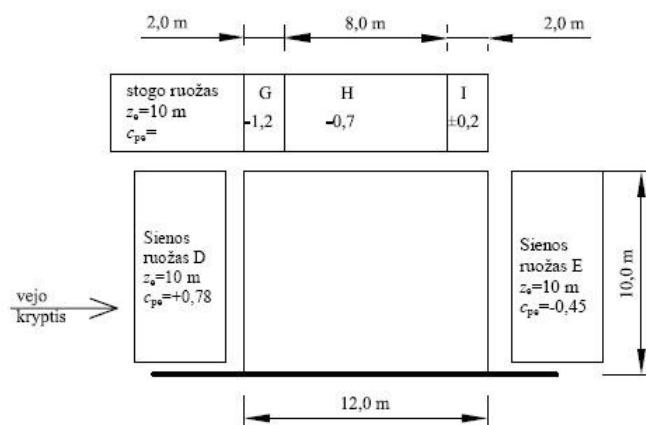
vidiniams slėgiams:

$$F_{w,i} = \sum q_p(z_i) c_{pi} A_{ref}(z) \quad (5.18)$$

c_s c_d – konstrukciniai faktoriai. Pagal LST EN 1991-1-4 6.2 pastatams, kurių aukštis mažiau negu 15 m, c_s c_d gali būti priimtas 1.

Slėgio koeficientai c_{pe} ir c_{pi} nustatomi analogiškai kaip ir pirmajame pavyzdyje. Bendroju atveju, pastatams vėjo jėgas reikia skaičiuoti keturioms ortogonaloms vėjo kryptimis, statmenomis kraštinėms sienoms, kadangi reikia nustatyti labiausiai nepalankiausius slėgio koeficientų dydžius iš visų galimų vėjo kitimo krypčių sekos. Taip pat įvertinus tai, kad pagrindinės konstrukcijos apkrautas plotas A yra didesnis už 10 m^2 , tai slėgio koeficientai $c_{pe} = c_{pe,10}$.

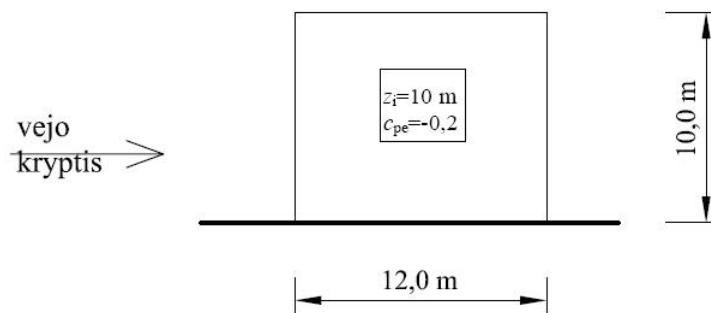
Išorinio slėgio koeficientai ir juos atitinkantys atskaitos aukščiai nustatyti sienoms ir plokščiam stogui. Rezultatai pateikti 42 pav., vėjo kryptys pateiktai 41 pav.



42 pav. Išorinio slėgio koeficientai: a) skerspjūvis nutolęs nuo kraštinės sienos atstumu $> e/4 = 5\text{ m}$;
b) skerspjūvis nutolęs nuo kraštinių sienų atstumu $\leq e/4 = 5\text{ m}$

Nustatant konstrukciją veikiančią atstojamąją jėgą gali būti įvertinta tai, kad nežinoma koreliacija tarp vėjo slėgių priešvėjinėje ir pavėjinėje pusėse (tai reiškia, kad viršūniniai vėjo slėgiai neatsiranda vienu metu). Šiam pavyzdžiui ($h/d = 0,83 < 1$) atstojamoji jėga gauta iš išorinio slėgio į sienas gali būti padauginta iš daugiklio 0,85 tikrinant globalų stabilumą (žr. LST EN 1991–1–4 7.2.2 (3) pastaba).

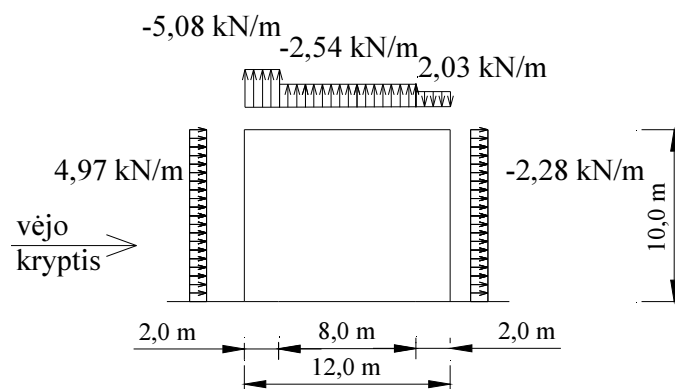
Vidinio slėgio koeficientas atitinkamam atskaitos aukščiui nustatomas pagal (7.2.9 skirsnį). Padaroma prielaida, kai angos tolygiai paskirstytos ir angų koeficientas μ yra 0,74. Vidinio slėgio koeficientas pateiktas 43 pav.



43 pav. Vidinio slėgio koeficientai

Visiems slėgio koeficientams atskaitos aukštis yra priimamas lygus $z_e = z_i = 10$ m. Pirmajam vėjo greičio rajonui pagrindinis vėjo greitis $v_b = 24$ m/s. II vietovės kategorijai viršūninė greičio slėgio charakteristinė reikšmė yra lygi $q_p = 846$ N/m².

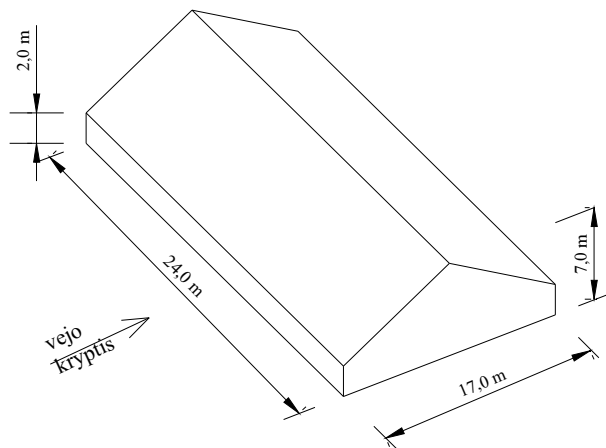
Rėmams, išdėstytiems 6,0 m atstumu, apkrovos pateiktos 44 pav.



44 pav. Vėjo apkrova viduriniams rėmams (neįtakojamiems stogo ruožo F)

5.3 pavyzdys. Paprastas stačiakampis pastatas su dvišlaičiu stogu

Paprasto stačiakampio pastato su dvišlaičiu stogu schema pateikta 45 pav. Pastato ilgis 24 m, tarpatramis 17 m, stogo aukštis: apačios – 2 m; kraigo – 6 m. Pastatas yra plokščioje II kategorijos vietovėje, kuriai pagrindinis vėjo greitis v_b lygus 24 m/s. Šiam pastatui pateikiami tik slėgio koeficientai vėjo kryptčiai pateiktai 45 pav.



45 pav. Paprastas stačiakampis pastatas su dvišlaičiu stogu

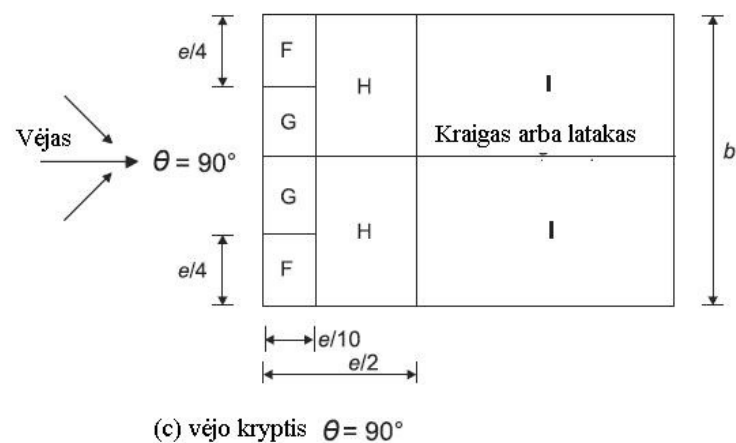
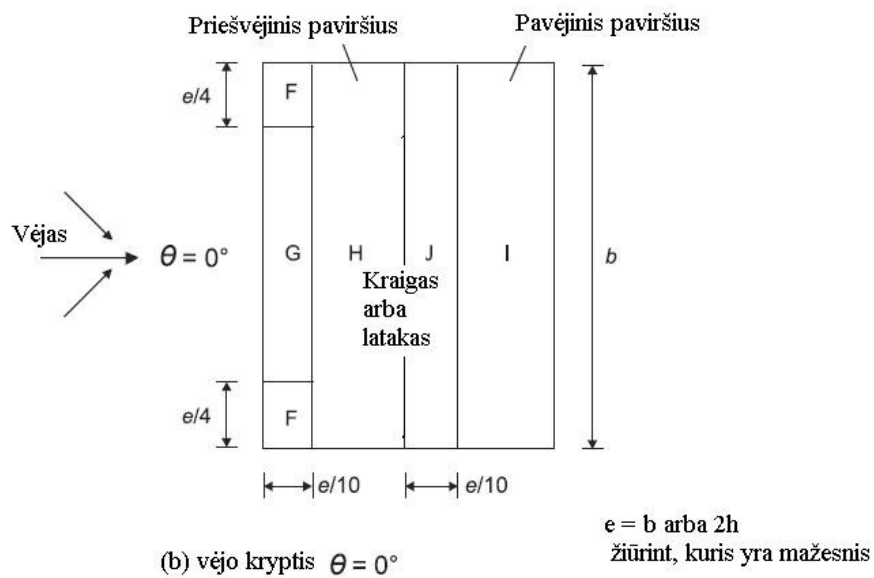
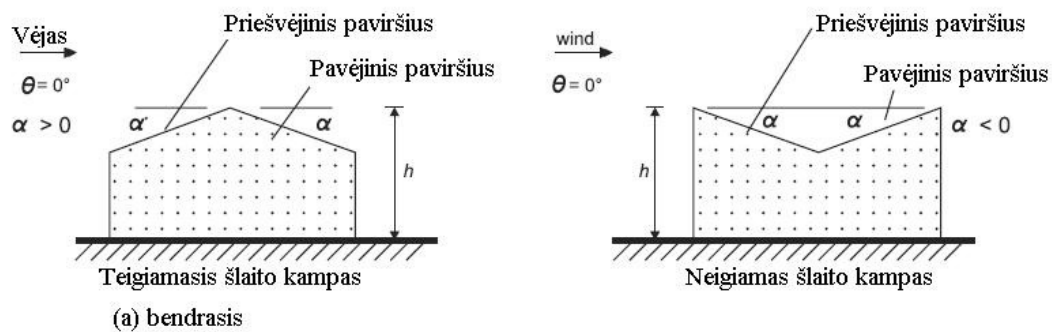
Pastato su dvišlaičiu stogu pagrindinę konstrukciją (rėmą) veikiančių jėgų nustatymo procedūra yra beveik analogiška kaip, kad prieš tai buvusiame pavyzdyje. Tik slėgio koeficientai yra nustatyti dvišlaičio stogo ruožams G, H, J, I (46 pav.) atitinkamiems atskaitos aukščiams (47 pav.) iš 20 lentelės.

20 lentelė. Dvišlaičių stogų išorinio slėgio koeficientai

Šlaito kampas α	Vėjo krypties $\theta = 0^\circ$ ruožas									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
									-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
									+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
									+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
									+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

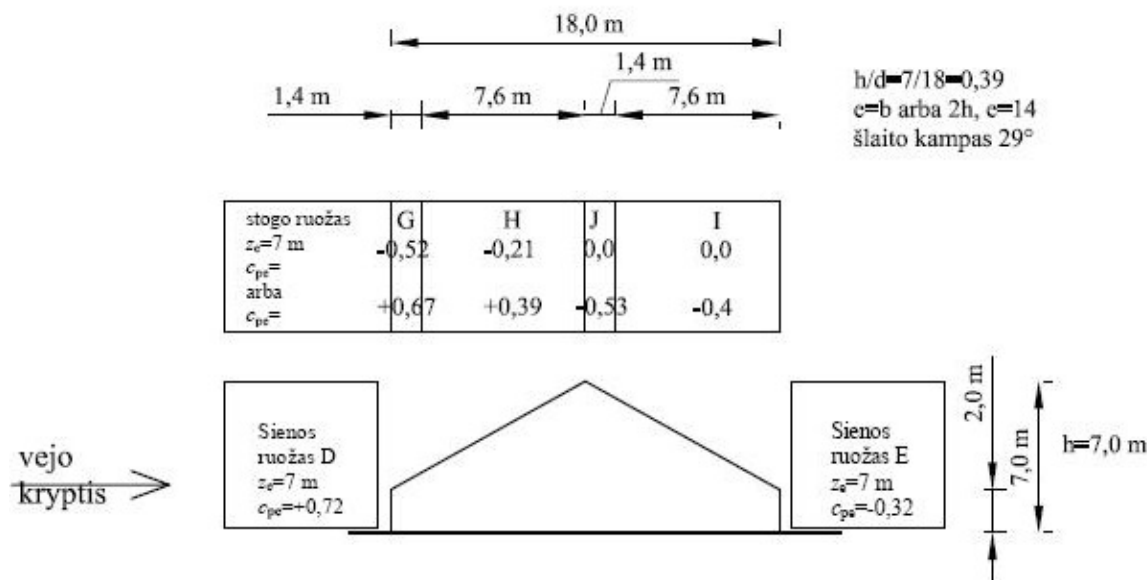
1 Pastaba: Kai $\theta = 0^\circ$, priešvėjinio paviršiaus slėgio reikšmės greitai keičiasi iš teigiamųjų į neigiamąsias, keičiantis šlaito kampui nuo $\alpha = -5^\circ$ iki $\alpha = +45^\circ$, todėl pateiktos tiek teigiamosios, tiek neigiamosios reikšmės. Reikia atsižvelgti į keturis šių stogų atvejus, kai F, G ir H ruožų didžiausiosios ir mažiausiosios reikšmės yra derinamos su I ir J ruožų didžiausiosiomis ir mažiausiosiomis reikšmėmis. Tame pačiame paviršiuje taikyti teigiamųjų ir neigiamųjų reikšmių negalima.

2 Pastaba: Tarpiniams šlaitų kampams galima taikyti interpoliaciją tarp to paties ženklo reikšmių. (Neinterpoliuoti tarp $\alpha = +5^\circ$ ir $\alpha = -5^\circ$, o naudokite plokščiųjų stogų duomenis, pateiktus 7.2.3). Reikšmės, lygios 0,0, pateiktos interpoliacijos tikslais.



46 pav. Dvišlaičių stogų paaiškinimas

Išorinio slėgio koeficientai ir juos atitinkantys atskaitos aukščiai pateikti 47 pav.



47 pav. Slėgio koeficientai atitinkamiems atskaitos aukščiams (atstumas iki kraštinės sienos > 3 m)

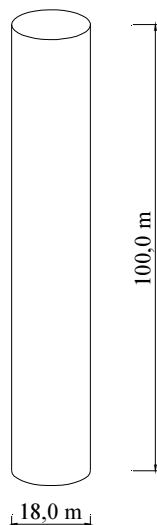
Pastato sienos išorinio slėgio atskaitos aukštis z_e yra lygus pastato aukščiui. Slėgiui į stogą pateiktos dvi koeficientų c_{pe} grupės. Tame pačiame paviršiuje derinti teigiamų ir neigiamų slėgio reikšmių negalima.

Vidinio slėgio koeficientas ir atskaitos aukštis nustatomas kitame etape. Pastatams su tolygiai paskirstytu angų santykiu ir esant $d/h = 2,6$ vidinio slėgio koeficientas turėtų būti priimtas $c_{pi} = -0,30$ arba $c_{pi} = +0,20$ (žr. LST EN 1991-1-4 7.29 (6) 2 pastaba) žiūrint, kuris yra nepalankesnis.

Pateiktai vėjo kryptčiai reikia nagrinėti keturis vėjo apkrovimo atvejus. Du apkrovos atvejai atitinkantys išorinį slėgį (neigiamasis pirmam šlaitui ir teigiamasis pirmam šlaitui) kiekvienas kombinuojamas su dviem apkrovimo atvejais susijusiais su vidiniu slėgiu (neigiamasis ir teigiamasis).

5.4 pavyzdys. Vėjo jėga į cilindrinį bokštą

Nustatyti vėjo jėgą, veikiančią cilindrinio bokšto pamato viršuje (48 pav.).



48 pav. Cilindrinis bokštas

Priimta, kad pastatas bus statomas Klaipėdoje, II-me vėjo greičio rajone. Pagrindinio vėjo greičio reikšmė 28 m/s. Vėjo greičio slėgis bus:

$$q_b = 0,49 \text{ kN/m}^2.$$

Bokštas yra mieste, kuris atitinka IV vietovės kategoriją. Atskaitos aukščiui $z_e = 100,0 \text{ m}$ gaunamas toks šiurkštumo koeficientas:

$$k_r = 0,19 \cdot (1/0,05)^{0,07} = 0,23;$$

$$c_r(z) = 0,23 \cdot \ln(100,0/1) = 1,06;$$

ekspozicijos koeficientas yra:

$$c_e(100) = 1 + 7,0 / (1,0 \cdot \ln(100/1)) = 2,52.$$

Viršūninis vėjo greičio slėgis

$$q_p(100) = 1,06^2 \cdot 2,52 \cdot 0,49 = 1,39 \text{ kN/m}^2.$$

Vėjo greitis, atitinkantis viršūninį vėjo greičio slėgį $1,39 \text{ kN/m}^2$, yra:

$$v = (2 \cdot q_p(z) / \rho)^{1/2} = (2 \cdot 1,39 \cdot 1000 / 1,25)^{1/2} = 47 \text{ m/s}.$$

Apskaičiuojame Reinoldso skaičių.

$$Re = 18 \text{ m} \cdot 47 \text{ m/s} / (15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}) = 5,6 \cdot 10^7 [-].$$

Papildomai prie Reinoldso skaičiaus reikia nustatyti paviršiaus ekvivalentinį šiurkštumą k . Pastato fasadas stiklinis. Pagal 21 lentelę ekvivalentinis šiurkštumas yra gaunamas:

$$k = 0,0015 \text{ mm}.$$

Apskaičiuojame santykį k/b

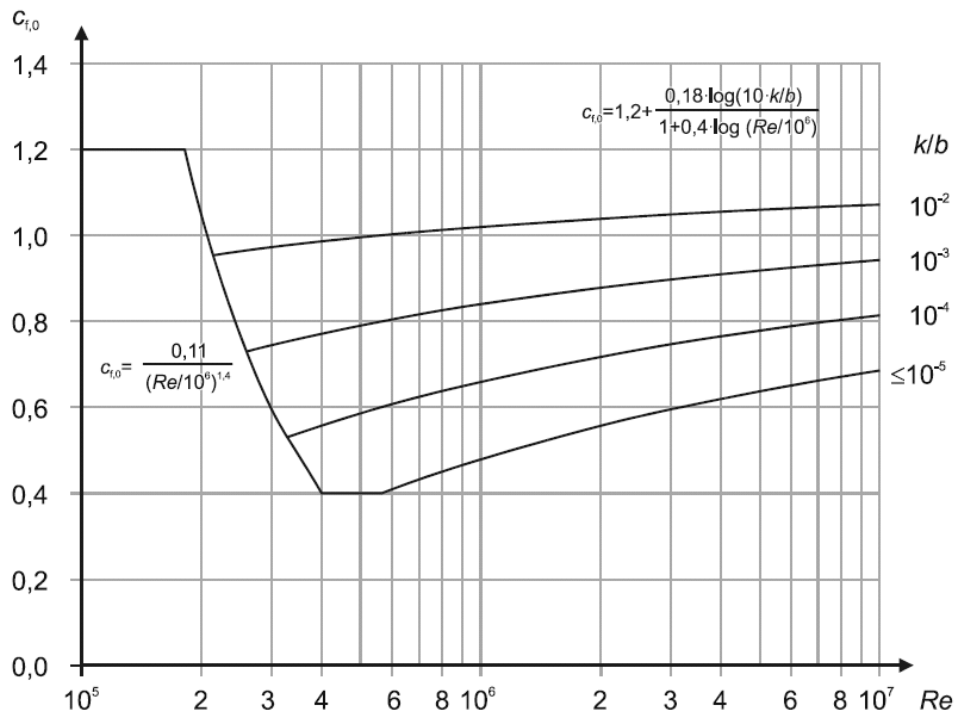
$$k/b = 0,0015 / 18 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-8}.$$

21 lentelė. Paviršiaus ekvivalentiškas šiurkštumas k

Paviršiaus tipas	Ekvivalentiškas šiurkštumas k , mm	Paviršiaus tipas	Ekvivalentiškas šiurkštumas k , mm
Stiklas	0,0015	Lygus betonas	0,2
Šlifuotas metalas	0,002	Obliuota mediena	0,5
Lygūs (smulkūs) dažai	0,006	Šiurkštus betonas	1,0
Purkšti dažai	0,02	Šiurkšti pjauta mediena	2,0
Šviesusis plienas	0,05	Rūdys	2,0
Ketus	0,2	Mūras	3,0
Cinkuotasis plienas	0,2		

Konstrukcijų elementų be laisvojo galo tėkmės jėgos koeficiento dydis (49 pav.) yra

$$c_{f,0} = 0,63.$$



49 pav. Apvalių cilindrų be laisvojo galo tėkmės ir skirtingo ekvivalentinio šiurkštumo k/b jėgos koeficientas $c_{f,0}$

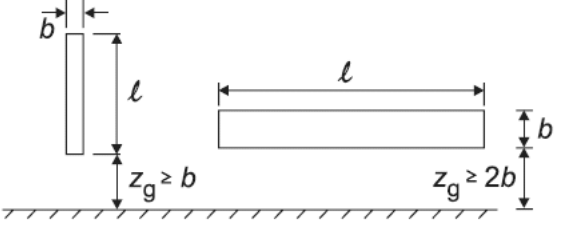
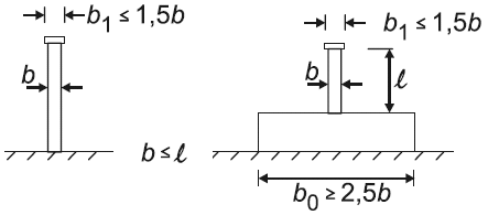
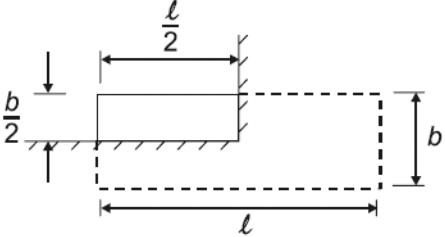
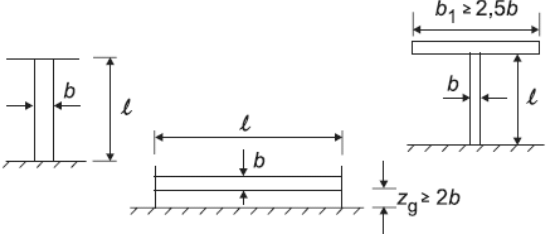
Cilindrinės konstrukcijos atitinkamas plotas yra:

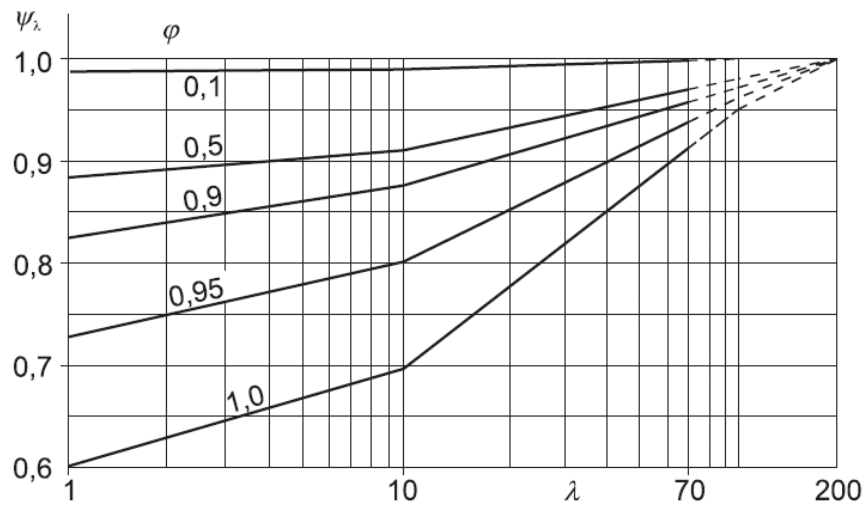
$$A_{ref} = l \cdot b = 100 \cdot 18 = 1800 \text{ m}^2.$$

Efektyvusis liaunis nustatomas atsižvelgiant į konstrukcijos matmenis ir jos padėtį. Kai $l \geq 50 \text{ m}$, tai $\lambda = 0,7$ $l/b = 3,89$ arba $\lambda = 70$ žiūrint, kuris mažesnis (22 lentelė). Galinio efekto koeficientas ψ_λ nustatomas pagal konstrukcijos vientisumo santykį $\varphi = 1$ ir efektyvųjį liaunį $\lambda = 3,89$ (50 pav.).

$$\psi_\lambda = 0,65.$$

22 lentelė. Rekomenduojamosios cilindrų, daugiakampių sekcijų, stačiakampių sekcijų, aštriais kraštais sekcijų ir spragotųjų konstrukcijų λ reikšmės

Nr.	Konstrukcijos padėtis, vėjas statmenas lapo plokštumai	Efektyvusis liaunis λ
1	 Kai $b \leq l$	Daugiakampio, stačiakampio ir aštriais kampais sekcijų ir spragotųjų konstrukcijų: kai $l \geq 50$ m, tai $\lambda = 1,4 \ell/b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis; kai $l < 15$ m, tai $\lambda = 2 \ell/b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis.
2		Apvalių cilindrų: kai $l \geq 50$ m, tai $\lambda = 0,7 \ell/b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis; kai $l < 15$ m, tai $\lambda = \ell/b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis.
3		Tarpinėms ℓ reikšmėms reikia taikyti tiesinę interpoliaciją.
4		Kai $l \geq 50$ m, tai $\lambda = 0,7 \ell b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis; kai $l < 15$ m, tai $\lambda = \ell/b$ arba $\lambda = 70$, žiūrint, kuris yra mažesnis. Tarpinėms ℓ reikšmėms reikia taikyti tiesinę interpoliaciją.



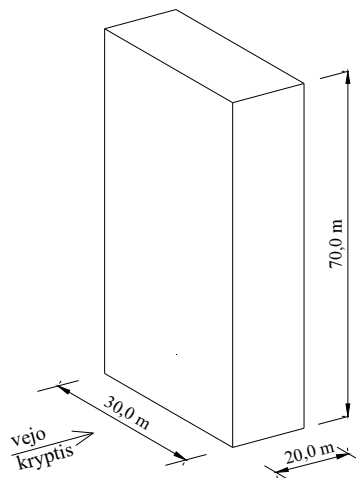
50 pav. Galinio efekto koeficiento ψ_λ būdingosios reikšmės, atsižvelgiant į vientisumo santykį φ liaunio λ atžvilgiu

Vėjo sukeltos jėgos atstojamosios ties bokštinio bloko pamatu charakteringoji reikšmė bus:

$$F_w = 1.39 \cdot 0,650,631 \cdot 800 = 1025 \text{ kN}.$$

5.5 pavyzdys. Vėjo slėgis į stačiakampio bokšto bloką

51 paveiksle parodytas paprastas daugiaaukštis pastatas su plokščiu stogu. Pastato matmenys: aukštis 70,0 m, plotis 30,0 m gylis 20,0 m. Pastatas yra II kategorijos vietovėje, kurioje pagrindinis vėjo greitis v_b yra 24 m/s. Nagrinėjamas išorinis vėjo slėgis į pastato sienas 51 paveiksle nurodyta vėjo kryptimi.



51 pav. Paprastas daugiaaukštis pastatas su plokščiu stogu

Kvazi- statinio atsako atveju vėjo jėgos apskaičiuojamos analogiškai kaip 5.2 pavyzdyje. Vėjo jėgos nustatomos (žr. pastatą su plokščiu stogu, 41 pav.):

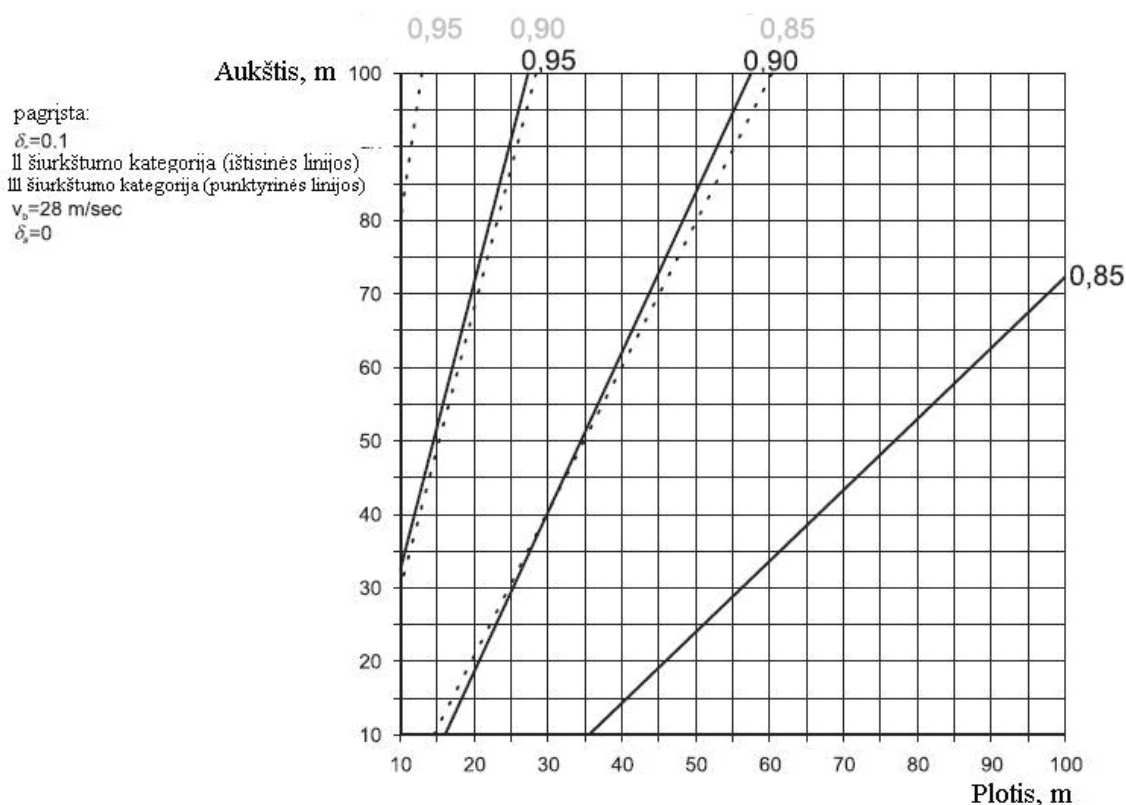
išoriniams slėgiams:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}(z), \quad (5.19)$$

vidiniams slėgiams:

$$F_{w,i} = \sum q_p(z_i) \cdot c_{pi} \cdot A_{ref}(z) \quad (5.20)$$

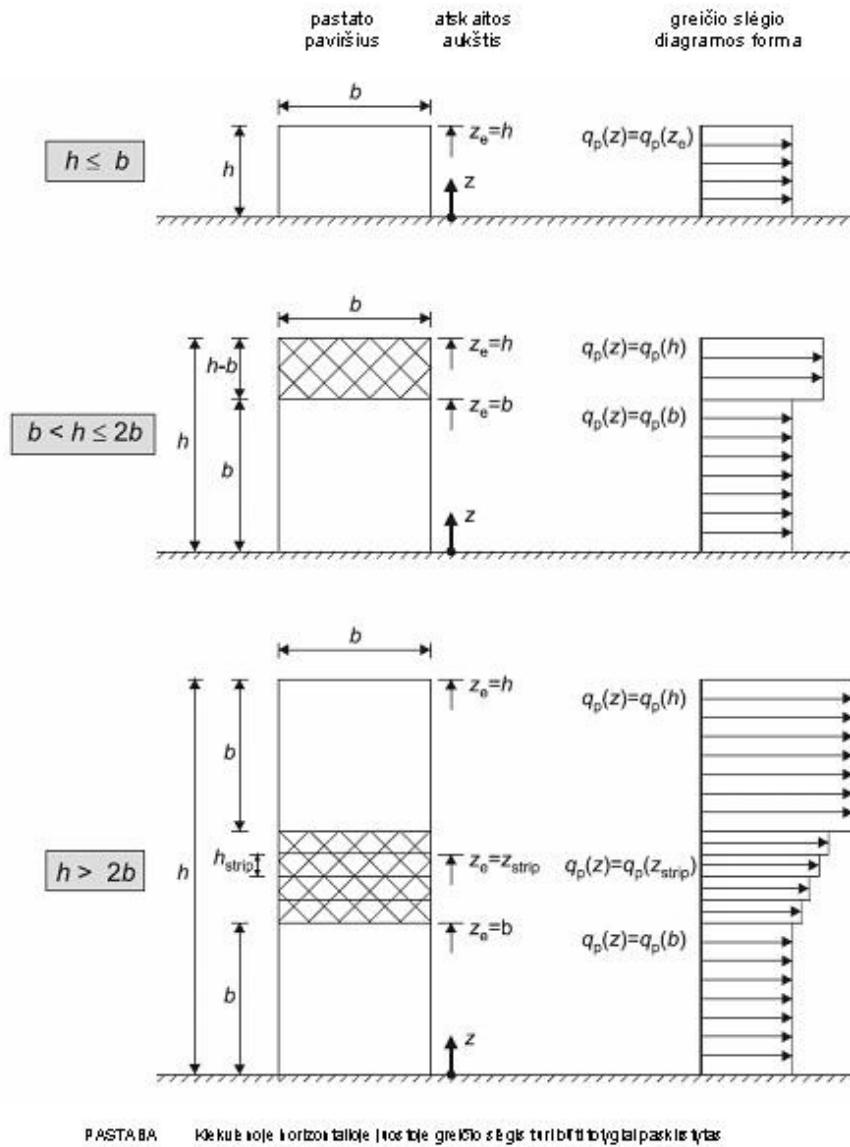
$c_s c_d$ – konstrukciniai faktoriai. Pagal LST EN 1991–1–4 6.2 poskyrį konstrukcinis koeficientas yra gaunamas pagal šio standarto 6.3 skirsnį ir priedą D. Daugiaaukščiam gelžbetoniniam 30,0 m pločio ir 70,0 m aukščio pastatui konstrukcinis faktorius yra $c_s c_d$ lygus 0,93 (52 pav.).



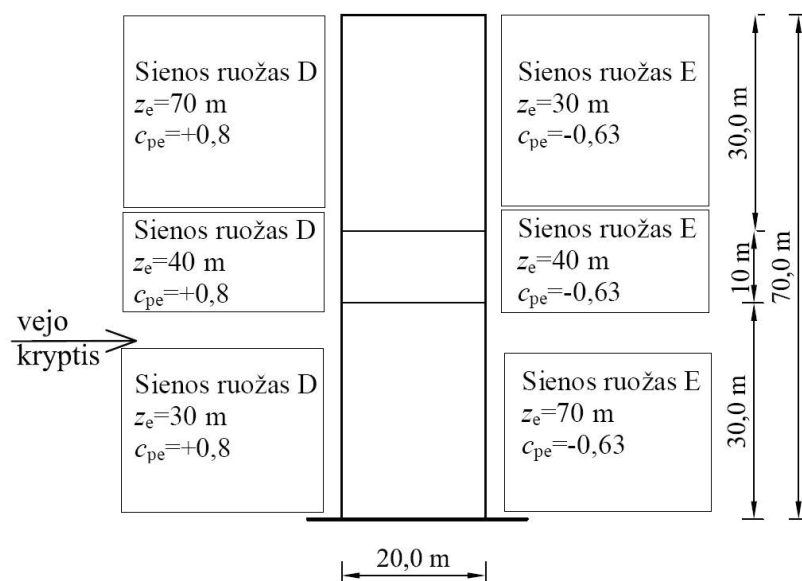
52 pav. Stačiakampio ant žemės paviršiaus plano, vertikalųjų išorinių sienų, tolygaus standžio ir masės pasiskirstymo daugiaaukščių gelžbetoninių pastatų $c_s c_d$

Išorinio slėgio koeficientų atskaitos aukščiai nustatyti pagal 53 paveiksle nurodytus reikalavimus

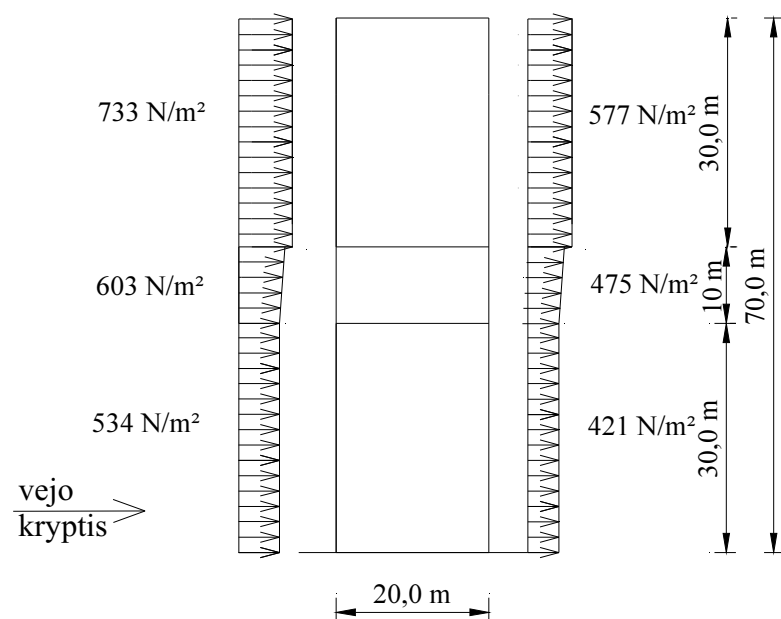
Išorinio slėgio koeficientai, vėjo kryptiai parodytai 51 pav., pateikti 54 paveiksle. Apskaičiuoti vėjo slėgiai pateikti 55 paveiksle.



53 pav. Atskaitos aukštis z_e , atsižvelgiant į h ir b , ir atitinkama greičio slėgio diagramos forma



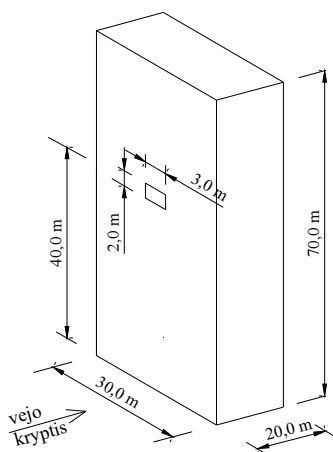
54 pav. Išorinio slėgio koeficientai



55 pav. Vėjo slėgis į daugiaaukščio pastato sienas

5.6 pavyzdys. Įstiklinta plokštė

Nustatyti vėjo slėgį į 56 paveiksle parodyto aukštuminio pastato įstiklintą plokštę. Įstiklintos plokštės matmenys yra: aukštis 2,0 m ir plotis 3,0 m. Įstiklinta plokštė yra dalis pastato nagrinėto ankstesniame 5.5 pavyzdyje.



56 pav. Aukšto pastato įstiklinta plokštė

Vėjo poveikiai į įstiklintą plokštę turi būti skaičiuojami kaip vėjo slėgiai pagal LST EN 1991-1-4 5.3 skirsnį. Todėl vėjo poveikiai į įstiklintą plokštę apskaičiuojami pagal (5.10) ir (5.11) formules:

išoriniams slėgiams:

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe}, \quad (5.21)$$

vidiniams slėgiams:

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi}. \quad (5.22)$$

Slėgio koeficientai ir atskaitos aukštis nustatytas pagal LST EN 1991-1-4 7 skyrių. Iš čia $c_{pe,10} = +0,8$ ir $c_{pe,1} = +1,0$. Vėjo veikiamas plotas $A_{ref} = 2,0 \times 3,0 = 6,0 \text{ m}^2$. Išorinis slėgio koeficientas $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log A_{ref} = 0,84$. Atskaitos aukštis $z_e = 70,0 \text{ m}$.

Vidinio slėgio koeficientai turi būti priimti $-0,4$ ir $+0,3$. Plokštės atskaitos aukštis turi būti priimtas vidutiniam nagrinėjamo lygio aukščiui. Šiame pavyzdyje jis priimtas $z_i = 40 \text{ m}$.

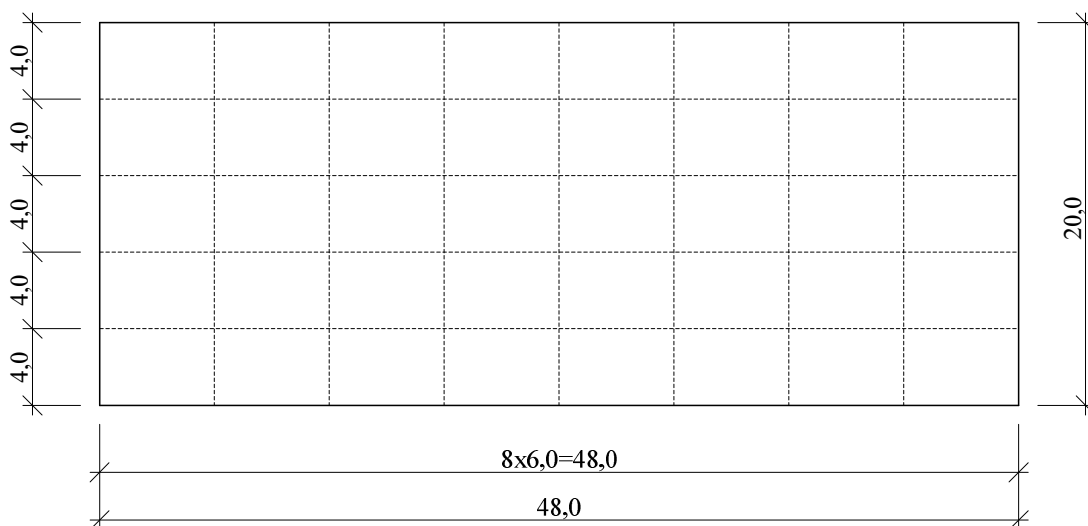
Vėjo slėgis į įstiklintą plokštę yra:

$$w = q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi} = 916 \cdot 0,84 + 754 \cdot 0,40 = 1070 \text{ N/m}^2.$$

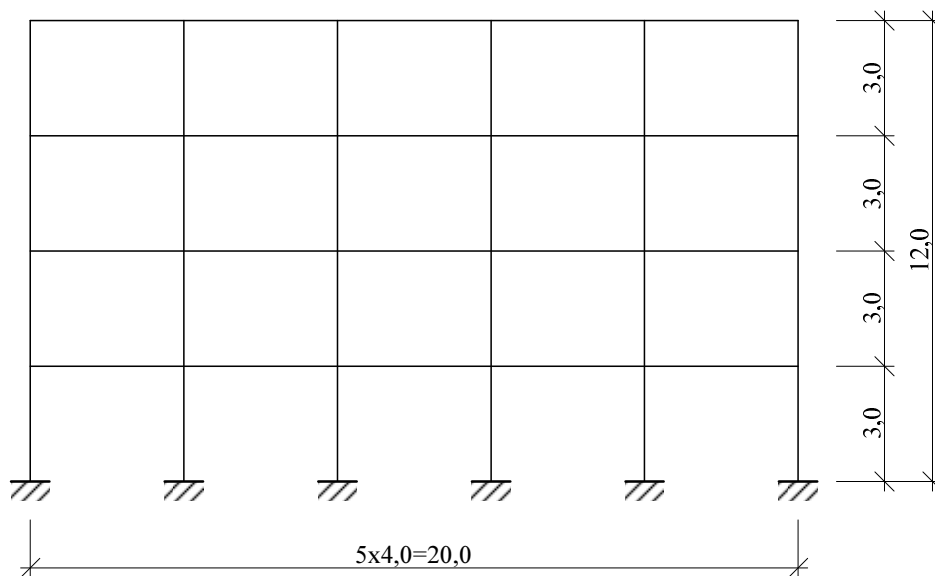
6. APKROVŲ IR ĮRĄŽŲ PASTATAMS APSKAIČIAVIMO PAVYZDŽIAI

6.1. Visuomeninis pastatas

Projektuojamas visuomeninės paskirties pastatas Vilniuje (57 pav.). Visos laikančiosios konstrukcijos yra gelžbetoninės. Pastatas plane yra 20×48 m matmenų. Jis yra keturių aukštų. Pastato perdangos yra gelžbetoninės sijinės. Sijos yra išdėstytos išilgine pastato kryptimi. Skersine pastato kryptimi sijų nėra. Perdangos sijos yra 470×300 mm skerspjūvio. Perdangos sijos atremtos į gelžbetonines kolonas, kurių skerspjūvis yra 300×300 mm. Gelžbetoninės monolitinės perdangos plokštės storis 120 mm. Virš perdangos plokštės yra 50 mm storio putų polistirolo sluoksnis, virš kurio 50 mm storio išlyginamasis betoninis sluoksnis, virš kurio įrengiamos keraminių plytelių grindys.



57 pav. Pastato planas



58 pav. Pastato skersinis pjūvis

Perdangos konstrukcijų sukeliamų apkrovų charakteristinės reikšmės:

- grindys $0,01 \cdot 21 = 0,21 \text{ kN/m}^2$;
- išlyginamasis sluoksnis $0,05 \cdot 24 = 1,2 \text{ kN/m}^2$;
- putų polistirolas $0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ kN/m}^2$;
- gelžbetoninė plokštė $0,12 \cdot 25 = 3,0 \text{ kN/m}^2$;
- sijos svoris tiesiniam metrui $0,3 \times 0,35 \times 25 = 2,625 \text{ kN/m}'$.

Stogo konstrukcijų sukeliamų apkrovų charakteristinės reikšmės:

- danga $0,01 \cdot 18 = 0,18 \text{ kN/m}^2$;
- šilumos izoliacija $0,22 \cdot 1 = 0,22 \text{ kN/m}^2$;
- putų polistirolas $0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ kN/m}^2$;
- gelžbetoninė plokštė $0,12 \cdot 25 = 3,0 \text{ kN/m}^2$;
- sijos svoris $2,625 \text{ kN/m}'$.

Kolonų savojo svorio apkrova ilgio vienetui

$$0,3 \times 0,3 \cdot 25 = 2,25 \text{ kN/m}'.$$

Visa perdangos plokštės bei virš jos esančių sluoksnių apkrova

$$g_k = 0,21 + 1,2 + 0,05 + 3,0 = 4,46 \text{ kN/m}^2.$$

Sijos apkrova tiesiniam metrui

$$g_{sijos,k} = 2,625 \text{ kN/m'}.$$

Perdangą veikiančios naudojimo apkrovos

Išstaigų plotai yra priskiriami B kategorijai ir LST EN 1991-1-1:2003 rekomenduojama naudojimo apkrova

$$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2.$$

Kilnojamųjų pertvarų savąjį svorį galima įvertinti tolygiai paskirstyta apkrova q_{k1} , kurią reikia pridėti prie naudojimo apkrovų. Ši tolygiai paskirstyta apkrova priklauso nuo pertvarų savojo svorio. Kadangi šiuo atveju pertvarų savasis svoris $\leq 3,0 \text{ kN/m'}$ sienos ilgio, tai $q_{k1} = 1,2 \text{ kN/m}^2$.

Sniego apkrovos

Lietuvoje, Vilniuje, charakteristinė sniego apkrova ant žemės paviršiaus $s_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$.
Sniego apkrova ant stogo

$$s_k = \mu_i \cdot c_c \cdot c_t \cdot s_k.$$

Ekspozicijos koeficientas $c_c = 1,0$, šiluminis koeficientas $c_t = 1,0$.

Kadangi nagrinėjamo pastato stogas yra plokščias, sniego apkrovos formos koeficientas $\mu_i = 0,8$.

Todėl sniego charakteristinė apkrova ant stogo

$$s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ kN/m}^2.$$

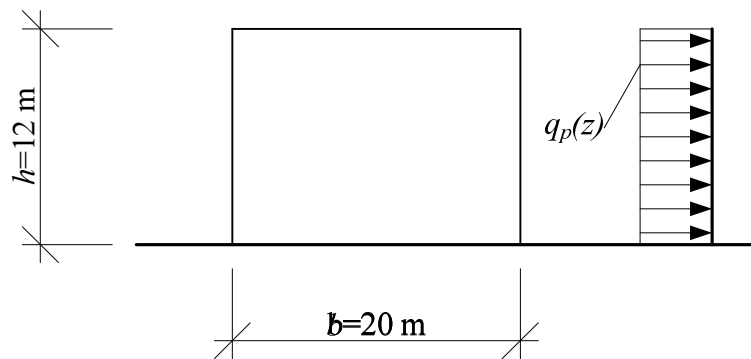
Vėjo apkrovos

Vilnius yra I vėjo greičio rajone. Vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė I rajone – 24 m/s. Todėl pagrindinis vėjo greitis

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24 = 24 \text{ m/s},$$

čia c_{dir} – vėjo kryptį įvertinantis koeficientas (rekomenduojama reikšmė =1,0); c_{season} – metų laiką vertinantis koeficientas (rekomenduojama reikšmė =1,0).

Vėjo slėgio reikšmės bei jų kitimas pagal aukštį priklauso nuo pastato matmenų. Tuo atveju, kai pastato aukštis h yra mažesnis už pastato plotį b vėjo slėgis ($q_p(z)$) yra pastovus (59 pav.).



59 pav. Pastato pjūvis ir vėjo slėgis ($q_p(z)$)

Vidutinis vėjo greitis z aukštyje

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,581 \cdot 1,0 \cdot 24 = 13,94 \text{ m/s},$$

čia $v_b = 24 \text{ m/s}$ (pagrindinis vėjo greitis); $c_0(z) = 1,0$.

Koeficientas $c_r(z)$ priklauso nuo pastato aukščio (z) ir vietovės

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \text{ kadangi } z_{\min} \leq z \leq 200 \text{ m},$$

čia k_r – vietovės koeficientas priklausantis nuo šiukščiojo ruožo ilgio z_{0i} ; z_0 – vietovėje esančių kliūčių aukščiai.

Pavyzdyje nagrinėjamas pastatas yra statomas miesto teritorijoje, kurioje pastatų vidutinis aukštis yra didesnis už 15 m. Todėl ši vietovė priskiriama IV kategorijai. Atsižvelgiant į tai $z_0 = 1,0$ ir $z_{\min} = 10 \text{ m}$.

$$c_r(z) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{12}{1,0}\right) = 0,581,$$

$$\text{čia } k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234.$$

Vėjo slėgis $q_p(z)$ yra apskaičiuojamas

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z).$$

Kadangi pastato $z > z_{\min}$, tai

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{12}{1,0}\right)} = 0,402.$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,402] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25(13,94)^2 = 615,4 \text{ N/m}^2 = 0,615 \text{ kN/m}^2.$$

Vėjo apkrova į pastato paviršių

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe},$$

čia c_{pe} – yra išorinio vėjo slėgio koeficientas, kuris priklauso nuo pastato nagrinėjamos plokštumos padėties vėjo veikimo krypties atžvilgiu.

Vėjo apkrovos w_e sukelta jėga F_w į pastato paviršiaus plotą A_{ref} yra apskaičiuojama

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{surfaces} w_e \cdot A_{ref},$$

čia $c_s \cdot c_d$ – koeficientai, įvertinus konstrukcinius faktorius (c_s – konstrukcijos mastelio koeficientas; c_d – dinaminis koeficientas konstrukcijoms, jautrioms vėjo sukeltiems virpesiams), ir jeigu pastatas žemesnis kaip 15 m, tai $c_s \cdot c_d = 1,0$.

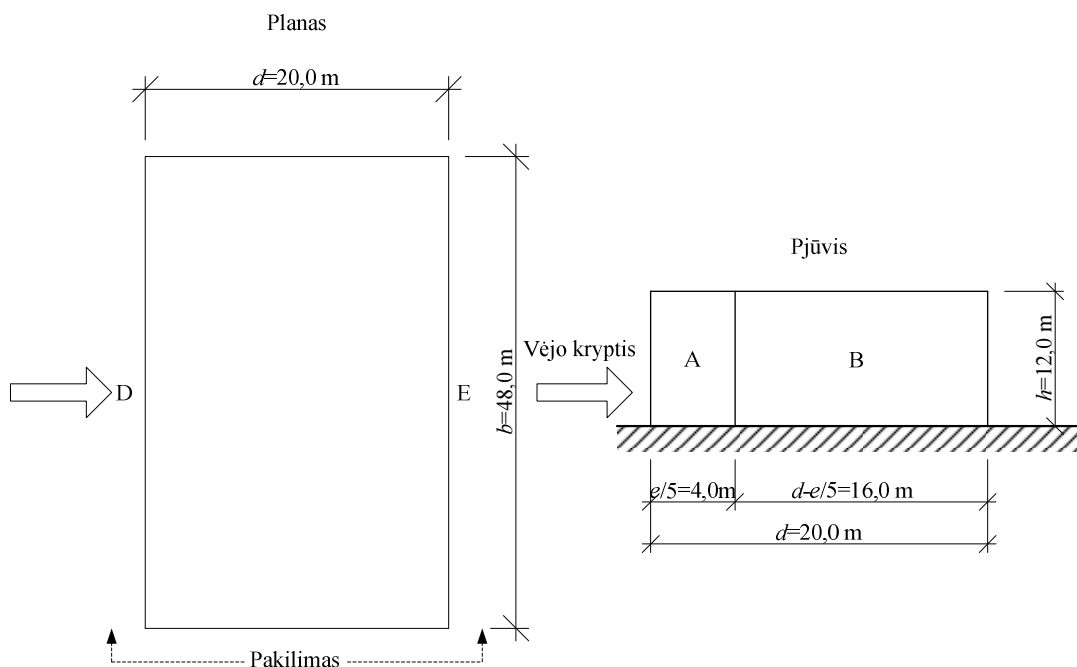
Nustatant išorinio vėjo slėgio koeficiento reikšmes c_{pe} , būtina turėti dydį

$$e = \min \{b, 2h\}.$$

Atsižvelgiant į pastato matmenis nustatomos pastato vertikalųjų plokštumų zonos su atitinkamomis vėjo slėgio koeficiento reikšmėmis.

Nagrinėjame atveį, vėjas pučia skersine pastato kryptimi (60 pav.) dydis $e = 24$ m.

Todėl $e = 24 \text{ m} > d = 20 \text{ m}$. Taip pat $\frac{h}{d} = \frac{12}{20} = 0,6$.



60 pav. Pastato vertikalųjų sienų aerodinaminių paviršių išsidėstymo schemas

Šiuo atveju pagal 18 lentelę surandame vėjo apkrovų veikiančių pastato išorines sienas (priklausomai nuo h/d) išorinio slėgio koeficientus:

A paviršius: $c_{pe} = -1,2$;

B paviršius: $c_{pe} = -0,8$;

D paviršius: $c_{pe} = +0,7$;

E paviršius: $c_{pe} = -0,3$.

Atsižvelgiant į slėgio koeficientus c_{pe} ir vėjo slėgį $q_{pc}(z)$ vėjo apkrova w_e į pastato sienų paviršius:

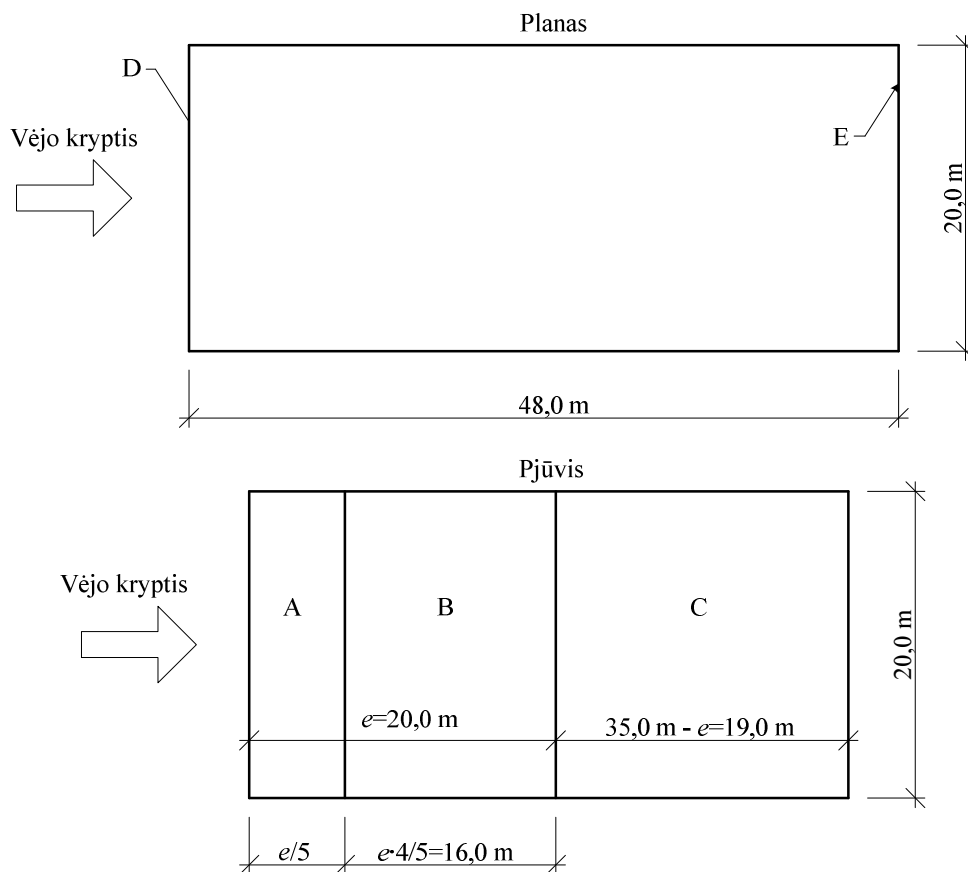
A paviršius: $w_e = q_{pe}(z) \cdot c_{pe} = 615,4 \cdot (-1,2) = -738,5 \text{ N/m}^2 = -0,7385 \text{ kN/m}^2$.

B paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,8) = -492,3 \text{ N/m}^2 = -0,4923 \text{ kN/m}^2$.

D paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (+0,7) = +430,8 \text{ N/m}^2 = +0,4308 \text{ kN/m}^2$.

E paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,3) = -184,6 \text{ N/m}^2 = -0,1846 \text{ kN/m}^2$.

Vėjui pučiant išilgai pastato dydis $e = \min\{b, 2h\} = \min\{20, 24\} = 20 \text{ m}$. Šiuo atveju $e = 20 < d = 48 \text{ m}$ ir $\frac{h}{d} = \frac{12}{48} = 0,25$. Vėjui pučiant išilgai pastato, vertikalių išorinių sienų aerodinaminių paviršių persiskirstymas parodytas 61 paveiksle.



61 pav. Slėgio paviršių pastato vertikaliuose išorinėse sienose išdėstymo schemas

Paviršių slėgio koeficientų reikšmės

A paviršius: $c_{pe} = -1,2$;

B paviršius: $c_{pe} = -0,8$;

C paviršius: $c_{pe} = -0,5$;

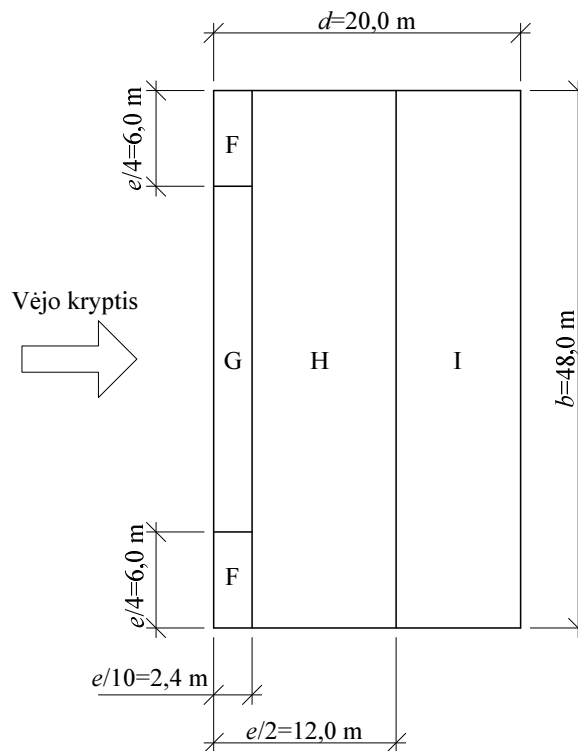
E paviršius: $c_{pe} = -0,3$.

A paviršius: $w_e = q_{pe}(z) \cdot c_{pe} = 615,4 \cdot (-1,2) = -738,5 \text{ N/m}^2 = -0,7385 \text{ kN/m}^2$.

C paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,5) = -307,7 \text{ N/m}^2 = -0,3077 \text{ kN/m}^2$

D paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (+0,7) = +430,8 \text{ N/m}^2 = +0,4308 \text{ kN/m}^2$.

E paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,3) = -184,6 \text{ N/m}^2 = -0,1846 \text{ kN/m}^2$.

$$\text{Dydis } e = \min\{b, 2h\} = \min\{48, 24\} = 24 \text{ m.}$$


62 pav. Stogo slėgio paviršiai, vėjui pučiant skersai pastato

Stogo paviršių slėgio koeficientai c_{pe} pagal 19 lentelę $\frac{h_p}{h} = \frac{0,6}{12} = 0,05$.

G paviršius: $c_{pe} = -0,9$;

I paviršius: $c_{pe} = -0,2$.

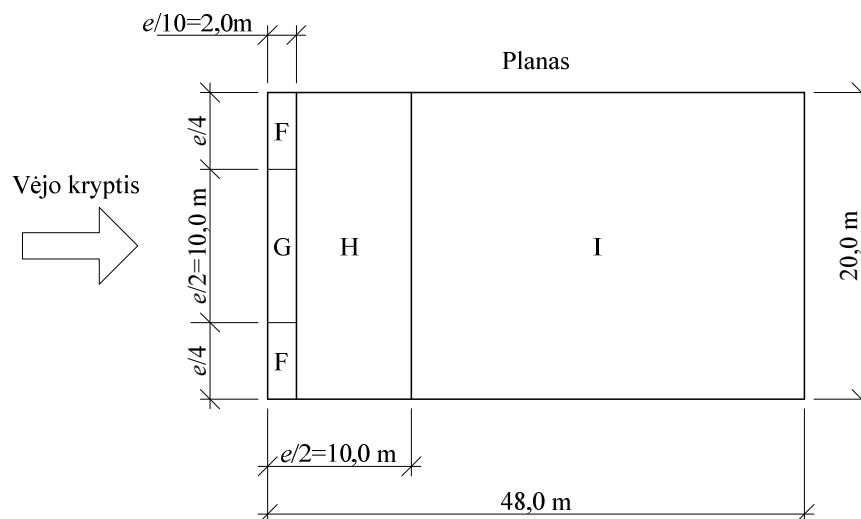
F paviršius: $w_e = q_{pe}(z) \cdot c_{pe} = 615,4 \cdot (-1,4) = -861,6 \text{ N/m}^2 = -0,862 \text{ kN/m}^2$.

G paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,9) = -553,9 \text{ N/m}^2 = -0,554 \text{ kN/m}^2$.

На поверхности: $w_e = 615,4 \cdot (-0,7) = -430,8 \text{ N/m}^2 = -0,431 \text{ kN/m}^2$.

I paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,2) = -123,1 \text{ N/m}^2 = -0,1231 \text{ kN/m}^2$.

Stogo konstrukcijos (išilgai pastato veikiant vėjui) aerodinaminiai paviršiai parodyti 63 paveiksle. Dydis $e = \min\{b, 2h\} = \min\{20, 24\} = 20$ m.



63 pav. Stogo aerodinaminiai paviršiai, vėjui pučiant išilgai pastato

F paviršius: $c_{pe} = -1,4$;

G paviršius: $c_{pe} = -0,8$;

H paviršius: $c_{pe} = -0,7$;

I paviršius: $c_{pe} = -0,2$.

Vėjo apkrova į paviršius

F paviršius: $w_e = q_{pe}(z) \cdot c_{pe} = 615,4 \cdot (-1,4) = -861,6 \text{ N/m}^2 = -0,862 \text{ kN/m}^2$.

G paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,8) = -492,3 \text{ N/m}^2 = -0,4923 \text{ kN/m}^2$.

H paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,7) = -430,8 \text{ N/m}^2 = -0,431 \text{ kN/m}^2$.

I paviršius: $w_e = 615,4 \cdot (-0,2) = -123,1 \text{ N/m}^2 = -0,1231 \text{ kN/m}^2$.

Apkrovų deriniai ir analizė

Saugos ribiniam būviui poveikiai apskaičiuojami nagrinėjant šią apkrovų kombinaciją

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \cdot$$

Tinkamumo ribiniam būviui poveikiai skaičiuojami nagrinėjant:

- charakteristinį derinį

$$\sum_j G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i>1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \cdot$$

- dažninį derinį

$$\sum_j G_{K,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i>1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \cdot$$

- tariamai nuolatinį derinį

$$\sum_j G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{K,i} \cdot$$

Naudojimo apkrovoms derinio koeficientai

$$\Psi_0 = 0,7; \Psi_1 = 0,5; \Psi_2 = 0,3.$$

Pagal LST EN 1990:2003 sniego apkrovoms koeficientai (kai vietovės žemės paviršiaus altitudė virš jūros lygio $\leq 1000 \text{ m}$) yra rekomenduojami

$$\Psi_0 = 0,5; \Psi_1 = 0,2; \Psi_2 = 0,00.$$

Nacionaliniame priede: $\Psi_0 = 0,5$; $\Psi_1 = 0,2$; $\Psi_2 = 0,00$.

Vėjo apkrovoms koeficientai

$$\Psi_0 = 0,6; \Psi_1 = 0,2; \Psi_2 = 0,00.$$

Apkrovų patikimumo koeficientai:

$\gamma_G = 1,35$ (nepalankiam atvejui $\gamma_G = 1,00$);

$\gamma_{Q,1} = 1,50$ (nepalankiam atvejui $\gamma_{Q,1} = 0,00$);

$\gamma_{Q,i} = 1,50$ (nepalankiam atvejui $\gamma_{Q,i} = 0,00$).

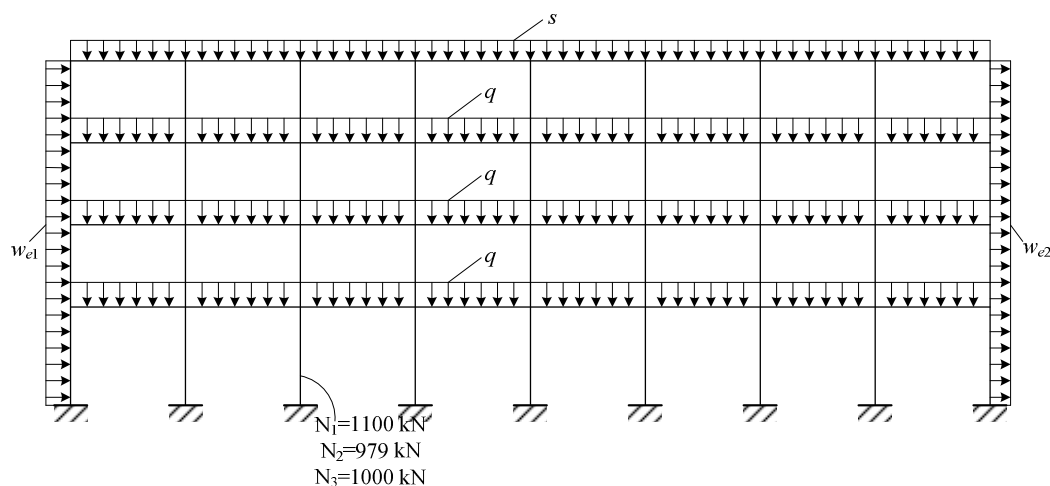
Saugos ribiniam būviui yra galimos tokios derinių išraiškos:

1) dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra naudojimo apkrova

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5(0,6Q_w + 0,5Q_s),$$

2) dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra vėjo apkrova

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_w + 1,5(0,7Q + 0,5Q_s),$$



3) dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra sniego apkrova

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_s + 1,5(0,7Q + 0,6Q_w).$$

Skaičiuojame pastato pirmojo aukšto kolonų įrašos. Kai kolonas veikia kelių aukštų naudojimo apkrovos, sumines naudojimo apkrovas galima sumažinti koeficientu α_n . Skaičiuojant įrašas derintinės reikšmės koeficientas Ψ_0 ir koeficientas α_n tai pačiai apkrovai vienu metu netaikomi.

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\Psi_0}{n} = \frac{2 + (3-2) \cdot 0,7}{3} = 0,9.$$

Skaičiuojant kolonų įrašas sprendžiame plokščią rėmą. Visi rėmo rygeliai yra apkrauti nuolatine ir naudojimo apkrovomis. Nagrinėjami trys apkrovų deriniai (1), (2) ir (3).

Skaičiuojant perdangos sijas vienos kategorijos naudojimo apkrovas galima sumažinti redukcijos koeficientu α_A .

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\Psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0,$$

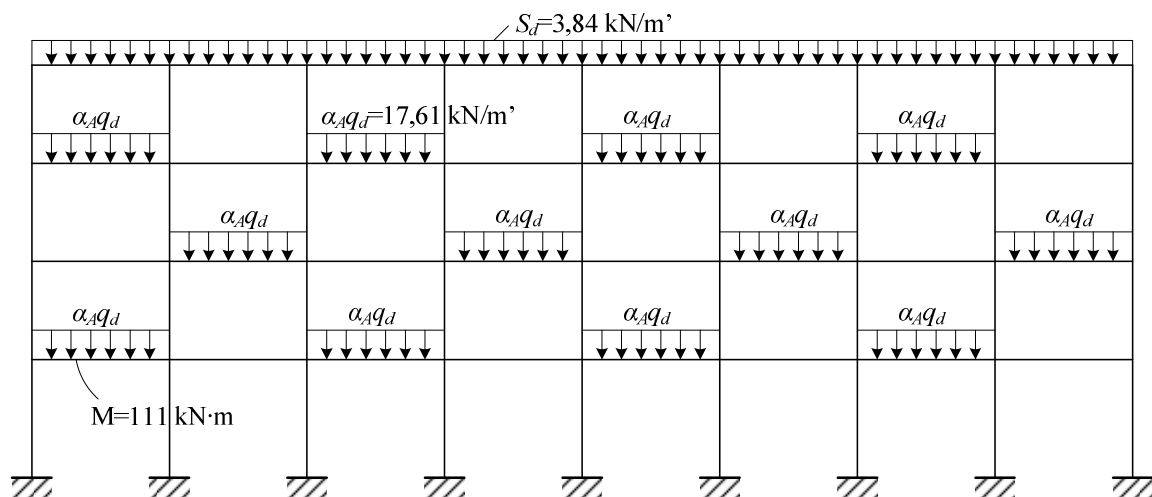
čia Ψ_0 – naudojimo apkrovos derintinės vertės koeficientas $\Psi_0 = 0,7$; $A_0 = 10 \text{ m}^2$; A – apkrautasis plotas

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{24} = 0,917.$$

Skaičiuojant perdangos nekarpytų sijų maksimalias teigiamų lenkimo momentų reikšmes, naudojimo apkrovos išdėstomos šachmatine tvarka.

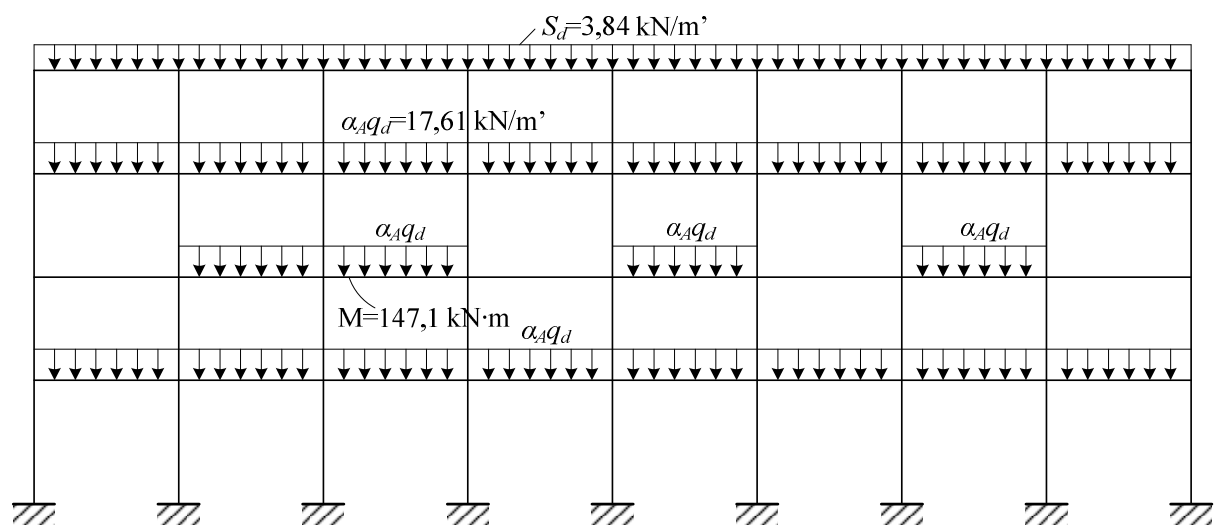
Įvertinus apkrovas

$$1,35G + 1,5 \cdot \alpha_A \cdot Q + 1,5 \cdot 0,5s_k.$$



64 pav. Naudojimo apkrovos išdėstymo schema

Skaiciuojant perdangos nekarpytų sijų maksimalias neigiamų momentų reikšmes, vertinama ta pati apkrova, o naudojimo apkrovos išdėstymo schema parodyta 65 paveiksle.



65 pav. Naudojimo apkrovų išdėstymo schema

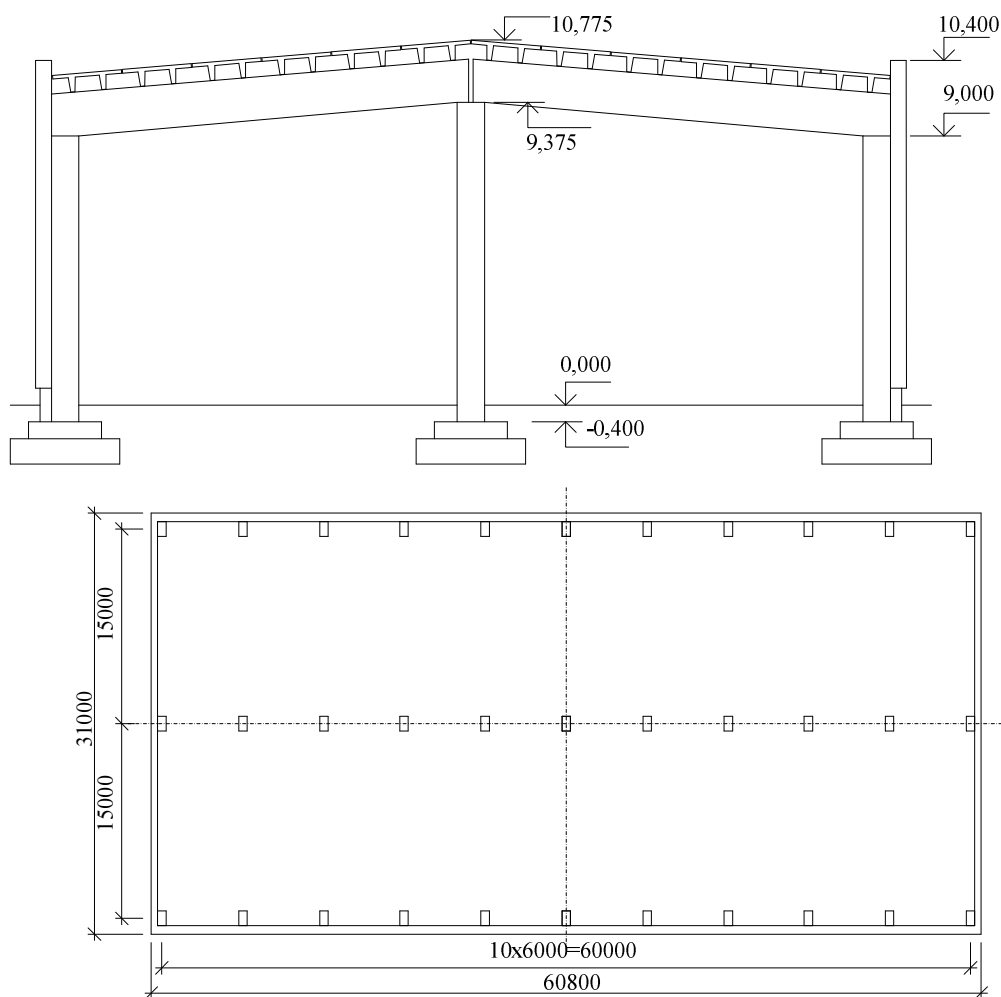
6.2. Pramoninis gelžbetoninis pastatas

Projektuojamos vieno aukšto dviejų tarpatramių pramoninis pastatas Klaipėdoje. Pastato laikančiosios konstrukcijos gelžbetoninės.

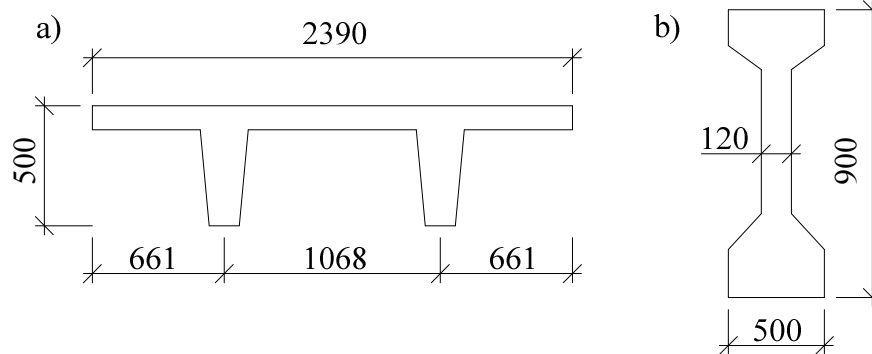
Tarpatramio ilgis 15 m. Išilgai pastato kolonos išdėstytos kas 6,0 m žingsniu. Stogo nuolydis nuo vidurinės ašies į abi puses 2 %. Į kolonas (skersai pastato) atremtos stogo gelžbetoninės stogo plokštės. Gelžbetoninių plokščių plotis 2400 mm. Plokštės į sijas bei sijos į kolonas atremtos lanksčiai. Kolonos, sijos ir plokštės yra gaminamos iš sunkiojo betono.

Nuolatinės apkrovos

Išorinių kolonų skerspjūvis 0,6×0,4 m. Jų savojo svorio apkrova 6,0 kN/m'. Vidurinėje ašyje esančių kolonų skerspjūvis 0,8×0,4 m, jų savasis svoris 8,0 kN/m'. Stogo sija yra dvitėjo skerspjūvio. Skerspjūvis yra pastovaus aukščio ir lygus 900 mm. Sijos savasis svoris 6,6 kN/m'. Stogo plokštės yra 2T skerspjūvio. Jų skerspjūvio aukštis 500 mm, plotis 2400 mm. Plokštės savasis svoris 2,61 kN/m².



66 pav. Pastato pjūvis ir planas



67 pav. Stogo plokštė (a) ir stogo sija (b)

Stogo dangos konstrukcijos savasis svoris parodytas lentelėje.

Stogo konstrukcijos savasis svoris

Eil. Nr.	Sluoksnių pavadinimas	Charakteristinė apkrova, kN/m ²
1.	Bituminė stogo danga	0,11
2.	Šilumos izoliacija	0,24
3.	Visa stogo apkrova	0,35

Sniego apkrova

Pastatas statomas Klaipėdoje. Atsižvelgiant į LST EN 1991–1–3:2004 sniego apkrovos ant žemės paviršiaus charakteristinė reikšmė

$$s_k = 1,2 \text{ kN/m}^2.$$

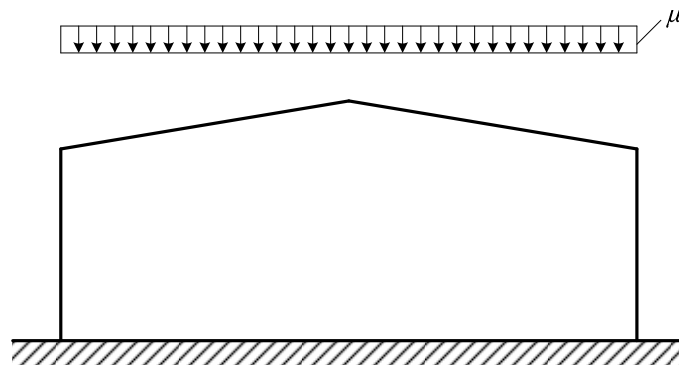
Sniego apkrovos ant stogo charakteristinė reikšmė

$$s_{roof} = \mu_i \cdot c_c \cdot c_t \cdot s_k,$$

čia c_c – ekspozicijos koeficientas; c_t – šilumos koeficientas; μ_i – sniego apkrovos formos koeficientas.

Koeficientai $c_c = 1,0$ ir $c_t = 1,0$.

Kai šlaitinio stogo posvyrio kampas $0-30^\circ$, koeficientas $\mu_i = 0,8$.



68 pav. Sniego apkrovos formos koeficientai

Sniego apkrova ant pastato stogo

$$s_{roof} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 0,96 \text{ kN/m}^2.$$

Vienam rėmui tenkanti sniego apkrova

$$s = 0,96 \cdot 6 = 5,76 \text{ kN/m'}.$$

Vėjo apkrova

Pastatas statomas Klaipėdoje (III rajonas). Vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė $v_{b,0} = 32 \text{ m/s}$ (15 lentelė). Bazinis vėjo greitis

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 32 = 32 \text{ m/s},$$

čia c_{dir} – koeficientas, įvertinantis vėjo kryptį (rekomenduojama reikšmė $=1,0$); c_{season} – sezono koeficientas (rekomenduojama reikšmė $=1,0$).

Pagal 16 lentelę, vietovė, kurioje statomas pastatas yra 0 kategorijos (artima jūrai). Todėl $z_0 = 0,003 \text{ m}$ ir $z_{min} = 1 \text{ m}$.

Pastato aukštį (z) ir vietovę apibūdinantys koeficientai:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{10,775}{0,003}\right) = 1,277,$$

čia $z=10,775$ m (aukštis ties kraigu);

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,003}{0,05} \right)^{0,07} = 0,156.$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(10,775/0,003)} = 0,1221,$$

čia $k_I=1,0$ (pagal EN 1991-1-4, 4.4 p.); $c_0(z)=1,0$ (pagal EN 1991-1-4, 4.3.3 p.)

Vidutinis vėjo greitis $z=10,775$ m aukštyje

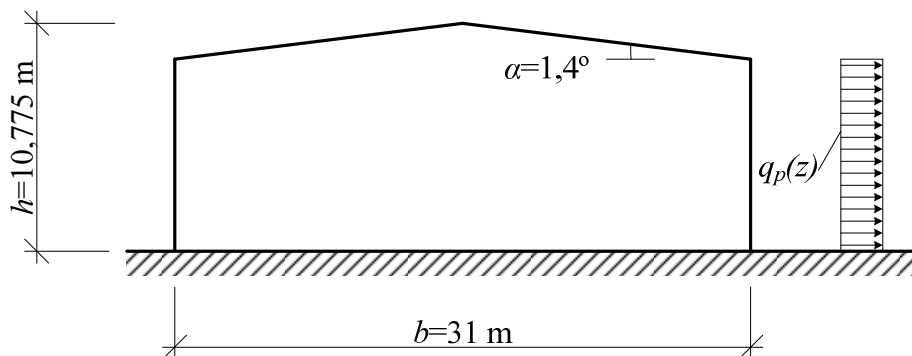
$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,277 \cdot 1,0 \cdot 32 = 40,86 \text{ m/s}.$$

Vėjo slėgis $z=10,775$ aukštyje

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,1221] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 40,86^2 = 1935 \text{ N/m}^2 = 1,935 \text{ kN/m}^2,$$

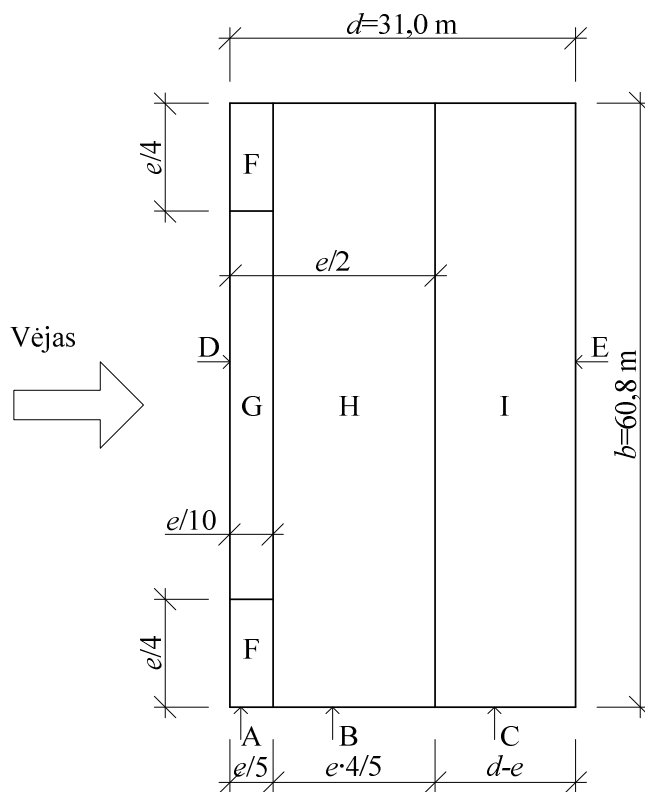
čia $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$ (oro tankis).

Darom prielaidą, kad vėjo apkrova veikia statmenai pastato paviršiaus. Kadangi $h < b$, tai vėjo slėgis visame pastato aukštyje yra pastovus (69 pav.).



69 pav. Vėjo slėgio pasiskirstymas pastato aukštyje

Pastato paviršių schema parodyta 70 pav.



70 pav. Pastato paviršiai

Pastato paviršių su vienodais slėgio koeficientais matmenis apibūdinantis dydis $e = \min \{b; 2h\} = 2h = 2 \cdot 10,775 = 21,55 \text{ m}$.

Atskirų paviršių slėgio koeficientai atsižvelgiant į EN 1991–1–4 pateikti žemiau esančioje lentelėje.

Vėjo charakteristinė apkrova

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}.$$

Atskirus paviršius veikiančių vėjo apkrovų reikšmės nurodytos lentelėje.

Vėjo slėgio koeficientai c_{pe} , kai $h/d=0,347$ ir $\alpha=1,4^\circ$ ir vėjo charakteristinės apkrovos w_e

Paviršius	Vėjo slėgio koeficientas, c_{pe}	Vėjo charakteristinė apkrova w_e (kN/m ²)
A	-1,2	-2,32
B	-0,8	-1,548
C	-0,5	-0,967
D	+0,713	+1,379
E	-0,326	-0,631
F	-1,8	-3,48
G	-1,2	-2,32
H	-0,7	-1,354
I	-0,2	-0,387

Stogo naudojimo apkrova

Stogo naudojimo apkrovos $q_k=0,4$ kN/m² ir $Q_k=1,1$ kN. Skaičiuojant gelžbetonines stogo konstrukcijas vertinama tolygiai paskirstyta naudojimo apkrova.

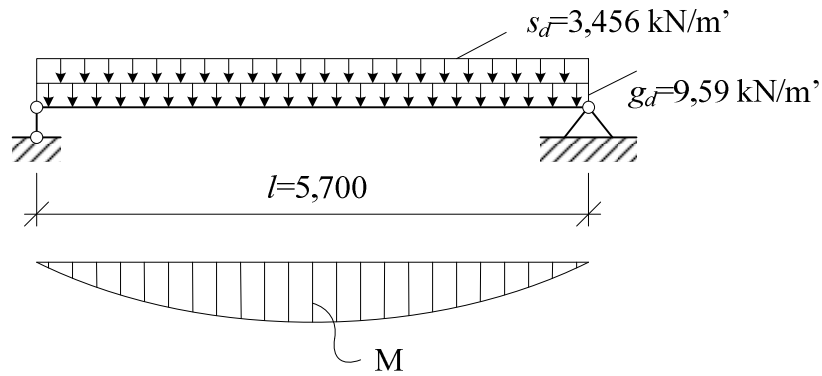
6.2.1. Gelžbetoninė stogo plokštė

Apkrovų deriniai ir efektų (įrašų) skaičiavimas

Stogo plokštė yra nagrinėjama kaip viena kryptimi dirbantis, laisvai atremtas gelžbetoninis elementas. Skaičiuojant vertinama plokštės savasis svoris ($g_{slab,k}$), stogo svoris ($g_{roof,k}$), sniegas (s).

Srogo naudojimo apkrova gali būti vertinama atskirai nuo sniego apkrovos. Kadangi sniego apkrova yra žymiai didesnė už naudojimo apkrovą, skaičiuojant plokštės įrašas ji nevertinama. Vėjo apkrova ant stogo yra neigiama, todėl vertinama skaičiuojant stogo plokštės neigiamas įrašas bei reakcijas.

Plokštės skaičiuotinė schema parodyta 71 paveiksle.



71 pav. Plokštės skaičiuotinė schema

Nuolatinė skaičiuotinė apkrova

$$g_d = \gamma_f (g_{slab,k} + g_{roof,k}) b_{plate} = 1,35 (2,61 + 0,35) 2,4 = 9,59 \text{ kN/m'}$$

Sniego skaičiuotinė apkrova

$$s_d = \gamma_f \cdot s_{roof} \cdot b_{slab} = 1,5 \cdot 0,96 \cdot 2,4 = 3,456 \text{ kN/m'}$$

Maksimalūs skaičiuotiniai plokštės efektai (įrašos)

$$M_{\max} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{(9,59 + 3,456) \cdot 5,7^2}{8} = 52,98 \text{ kN}\cdot\text{m'}$$

$$V_{\max} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{(9,59 + 3,456) \cdot 5,7}{2} = 37,2 \text{ kN}$$

Deginio plokštės, esančios stogo F paviršiuje, mažiausi efektai (įrašos). Šiuo atveju vertinamos skaičiuotinės apkrovos g_d (nuolatinė) ir w_{ed} (vėjas).

$$g_d = 1,0 (2,61 + 0,35) 2,4 = 7,10 \text{ kN/m'}$$

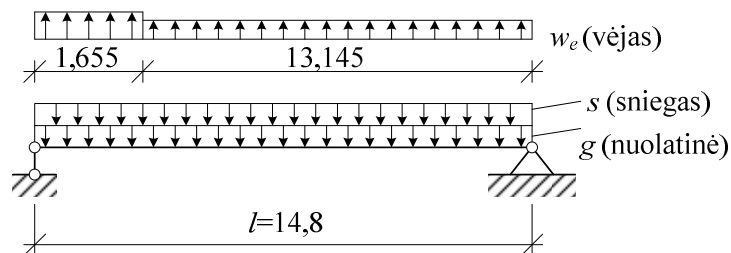
$$w_{ed} = 1,5 (-3,48) \cdot 2,4 = -12,53 \text{ kN/m'}$$

$$M_{\min} = \frac{(7,10 + (-12,53))5,7^2}{8} = -25,1 \text{ kN/m}';$$

$$V_{\min} = \frac{(7,10 + (-12,53))5,7}{2} = -15,47 \text{ kN/m}'.$$

Stogo sija

Stogo sija skaičiuojama kaip dvitramis, lanksčiai atremtas į kolonas gelžbetoninis elementas. Stogo siją veikia: sijos savasis svoris ($g_{beam,k}$); stogo plokščių savasis svoris ($g_{slab,k}$); stogo svoris ($g_{roof,k}$); sniegas (s) ir vėjas (w_e). Stogo naudotinė apkrova yra mažesnė už sniego apkrovą, todėl apkrovų deriniuose neįvertiname.



Siją veikiančios apkrovos

$$g_d = 1,35[6,6 + (2,61 + 0,35)6,0] = 32,89 \text{ kN/m}';$$

$$g_d = 1,0[6,6 + (2,61 + 0,35)6,0] = 24,36 \text{ kN/m}';$$

$$s_d = 1,5 \cdot 0,96 \cdot 6 = 8,64 \text{ kN/m}';$$

$$w_{ed1} = 1,5 \cdot (-2,32) \cdot 6 = -20,88 \text{ kN/m}';$$

$$w_{ed2} = 1,5 \cdot (-1,354) \cdot 6 = -12,186 \text{ kN/m}'.$$

Maksimalios stogo sijos įrašos:

$$M_{\max} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{(32,89 + 24,36) \cdot 14,8^2}{8} = 1567 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$V_{\max} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{(32,89 + 24,36) \cdot 14,8}{2} = 424 \text{ kN}.$$

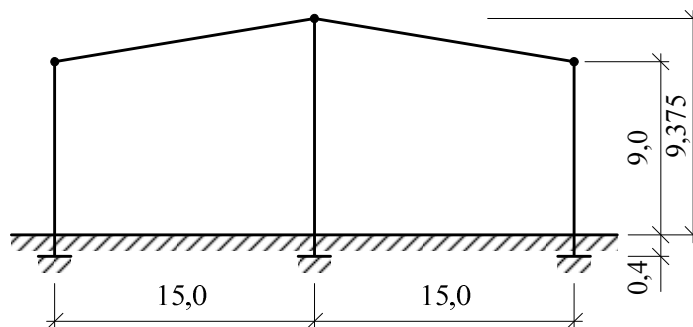
Minimalios stogo sijos įrašos:

$$\mu_{\min} \{g_d; w_{ed}\} = -348,9 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$V_{\min} \{g_d; w_{ed}\} = 105,1 \text{ kN}.$$

Kolonos

Skačiuojant kolonų įrašas nagrinėjame pastato skersinį rėmą parodytą 72 paveiksle.



72 pav. Pastato skaičiuotinė schema

Įrašos yra skaičiuojamos atskirai nuo kiekvienos apkrovos:

- 1) nuolatinės apkrovos;
- 2) naudojimo apkrovos ant stogo;
- 3) sniego;
- 4) vėjo.

Kolonų ašinės jėgos ir lenkimo momentai parodyti žemiau pateiktuose paveiksluose ir lentelėse.

Kolonų įrašos

Apkrova	Kraštinė kolona		Vidurinė kolona	
	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)
nuolatinė	236,8	0	440,5	0
naudojimo apkrova ant stogo	18,0	0	36,0	0
sniegas	43,2	0	86,4	0
vėjas	-104,6	156,9	-109,9	184,7

Atsižvelgiant į veikiančių apkrovų pobūdį sudaromi deriniai:

I derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot R$;

II derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W$;

III derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$;

IV derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 0,00 \cdot 0,6 \cdot W$;

V derinys: $1,00 \cdot G + 1,5 \cdot W + 0,0 \cdot 0,5 \cdot S$,

čia G – nuolatinės apkrovos; R – naudojimo apkrova ant stogo; S – sniegas; W – vėjas.

Atsižvelgiant į apkrovų derinius gautos kolonų įrašos parodytos lentelėje.

Kolonų įrašos, atsižvelgiant į nagrinėtus apkrovų derinius

Derinys	Kraštinė kolona		Vidurinė kolona	
	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)
I derinys	347	0	649	0
II derinys	290	0	625	0
III derinys	195,2	235,25	495	270
IV derinys	79,9	235,35	276	270
V derinys	384	0	724	0

6.3. Plieninis pastatas

Skaičiuojamas vienaukštis, vieno tarpatramio pastatas, kurio plotis 18,83 m, o ilgis 30,68 m. Pastato laikančiosios konstrukcijos yra plieninės. Plieninio rėmo tarpatramis 18 m. plieniniai rėmai

išilgai pastato išdėstyti 6,0 m žingsniu. Kolonos aukštis 7,475 m. Pastato aukštis ties tapatramio viduriu 8,825 m. Stogo posvyrio kampas $8,5^\circ$. Pleninio rėmo elementai pagaminti iš valcuotų profilių. Rėmo kolonos yra gaunamos iš HEA450, sijos yra iš IPE550, ilginiai HEA220. Pokraninės sijos IPN280. Kolonų gembės pokraninių sijų tvirtinimui IPN300. Rėmų ryšiai yra daromi iš kampuočių L75×75×6. Konstrukcijos yra gaminamos iš konstrukcinio plieno S235.

Apkrovos

Konstrukcijų savasis svoris yra apskaičiuojamas pagal nominaliuosius matmenis ir plieno tankį, pateiktą EN 1991-1-1 standarte. Pavyzdyje įvertintas plieno tankis $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$. Konstrukcijų savojo svorio charakteristinė reikšmė apskaičiuojama

$$g_k = \gamma \cdot A.$$

Pleninių konstrukcijų savojo svorio sukeltos apkrovos

Elementas	Skerspjūvis	Apkrova g_k (kN/m')
Kolona	HEA 450	1,40
Sija	IPE 550	1,06
Ilginiai	HEA 220	0,505
Pokraninė sija	IPN 280	0,480
Kolonos gembė	IPN 300	0,542
Ryšiai	L75×75×6	0,069

Pastato stogo ir sienų aptaisymui naudojamos lengvos sluoksniuotosios („Sendvič“) plokštės. Denginio plokščių storis 200 mm, jų savasis svoris $\gamma = 0,30 \text{ kN/m}^2$. Sienų plokščių storis 190 mm, jų savasis svoris $\gamma = 0,27 \text{ kN/m}^2$. Pleniniai rėmai nagrinėjamame pastate išdėstyti 6,0 m žingsniu. Stogo ir sienų plokščių apkrova tenkanti vienam rėmui

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

$$g_{k,wall} = 6 \cdot 0,27 = 1,62 \text{ kN/m'}.$$

Stogo naudojimo apkrovos

Pavyzdyje nagrinėjamo pastato stogas yra H kategorijos. Tokiems stogams naudojimo apkrovos $q_k=0,4 \text{ kN/m}^2$ ir $Q_k=1,1 \text{ kN}$.

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:

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

Kranų apkrovos

Pastate yra vienas 165 kN keliamosios galios kranas. Krano tarpatramis 18 m. atstumas tarp krano ašių 4,35 m. atstumas tarp krano ratų 16,5 m. Vieno rato maksimali jėga įskaitant dinامينius koeficientus perduodama bėgiui $P_{\max}=137,4 \text{ kN}$. Minimali jėga krano rato – $P_{\min}=37 \text{ kN}$.

Krano apkrovos sukeliama horizontali jėga rėmo plokštumos kryptimi $P_{Hx}=0,1P_{\max}$ (EN 1991–3:2006). Horizontali jėga statmena rėmo plokštumai $P_{Hy}=0,15P_{\max}$.

Sniego apkrovos

Pastatas statomas Vilniuje. Pagal 8 lentelę, sniego apkrovos ant žemės paviršiaus charakteristinė reikšmė $s_k=1,6 \text{ kN/m}^2$.

Sniego apkrovos ant stogo charakteristinė reikšmė

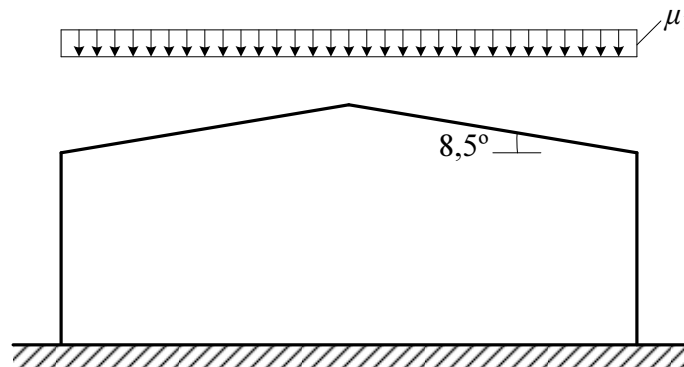
$$s_{roof} = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k,$$

čia c_e – ekspozicijos koeficientas; c_t – šilumos koeficientas; μ_i – sniego apkrovos formos koeficientas.

Koeficientai $c_e=1,0$ ir $c_t=1,0$.

Sniego apkrovos formos koeficientas pagal 21 ir 23 pav., kai šlaitinio stogo posvyrio kampas $0-30^\circ$

$$\mu_i = 0,8.$$



Sniego apkrovos formos koeficientai

Sniego apkrova ant pastato stogo

$$s_{roof} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ kN/m'}.$$

Vienam rėmui tenkanti sniego apkrova

$$s = 1,28 \cdot 6 = 7,68 \text{ kN/m'}.$$

Vėjo apkrova

Pastatą veikianti apkrova apskaičiuojama panašiai kaip ir 6.1 ir 6.2 pavyzdžiuose. Vėjo greitis Vilniuje yra nustatomas pagal Lietuvoje (I rajone) priimtą atskaitinį vėjo greitį $v_{b,0} = 24$ m/s.

Bazinis vėjo greitis apskaičiuojamas

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{seasai} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24 = 24 \text{ m/s},$$

čia c_{dir} – koeficientas, įvertinantis vėjo kryptį (rekomenduojama reikšmė = 1,0); c_{season} – sezono koeficientas (rekomenduojama reikšmė = 1,0).

Vidutinis vėjo greitis aukštyje z

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,727 \cdot 1,0 \cdot 24 = 17,45 \text{ m/s},$$

čia $c_r(z)$ – šiurkštumo koeficientas; $c_0(z)$ – kalnuotumo koeficientas (=1,0).

Koeficientas $c_r(z)$ priklauso nuo pastato aukščio ir vietovės formos

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \text{ kai } z_{\min} \leq z \leq 200 \text{ m};$$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{8,825}{0,3}\right) = 0,727,$$

čia $z_0 = 0,3 \text{ m}$, $z_{\min} = 5 \text{ m}$ (pagal 1 lentelę), (pastatas III kategorijos vietovėje); $z = 8,825 \text{ m}$ – pastato aukštis.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215.$$

Vėjo slėgis z aukštyje apskaičiuojamas

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,295] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,45^2 = 0,583 \text{ kN/m}^2,$$

čia $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(8,825/0,3)} = 0,295$, kai $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$; $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – oro tankis.

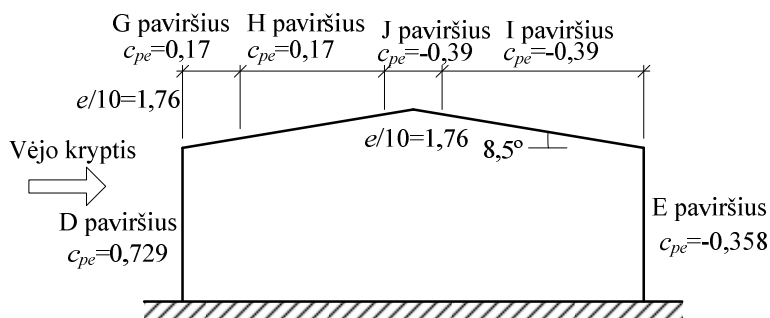
Vėjo charakteristinė apkrova yra apskaičiuojama

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe},$$

čia c_{pe} – vėjo slėgio koeficientas.

Slėgio koeficientų reikšmės atskiriems pastato paviršiams yra skirtingos. Jos yra nurodytos 6.2 pavyzdyje.

$$\text{Dydis } e = \min\{b; 2h\} = \min\{30,68; 17,65\} = 17,65 \text{ m.}$$



Pastato paviršiai ir juose esančių slėgio koeficientų reikšmės

Atskiruose pastato paviršiuose 1 m^2 vėjo apkrovos:

$$\text{D paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot 0,729 = 0,425 \text{ kN/m}^2;$$

$$\text{E paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot (-0,358) = -0,209 \text{ kN/m}^2;$$

$$\text{G paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot 0,17 = 0,0991 \text{ kN/m}^2;$$

$$\text{H paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot 0,17 = 0,0991 \text{ kN/m}^2;$$

$$\text{J paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot (-0,39) = -0,227 \text{ kN/m}^2;$$

$$\text{I paviršius} \rightarrow w_e = 0,583 \cdot (-0,39) = -0,227 \text{ kN/m}^2.$$

Skaiciuojant plieninį rėmą apskaičiuojame apkrovas tenkančias $1 \text{ m}'$:

$$\text{D paviršius} \rightarrow w_e = 0,255 \text{ kN/m}';$$

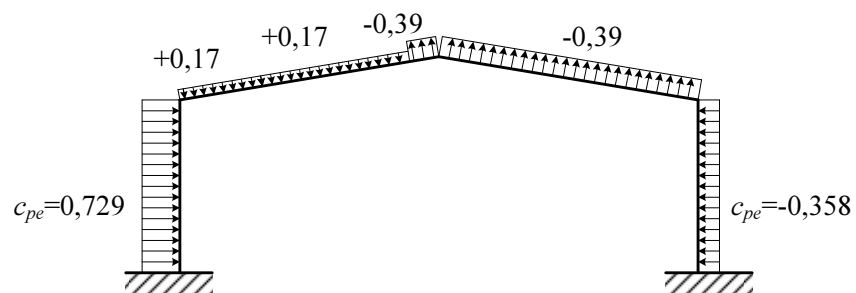
$$\text{E paviršius} \rightarrow w_e = -1,254 \text{ kN/m}';$$

$$\text{G paviršius} \rightarrow w_e = 0,595 \text{ kN/m}';$$

$$\text{H paviršius} \rightarrow w_e = 0,595 \text{ kN/m}';$$

$$\text{J paviršius} \rightarrow w_e = -1,362 \text{ kN/m}';$$

$$\text{I paviršius} \rightarrow w_e = -1,362 \text{ kN/m}';$$



Pastato paviršių slėgio koeficientai

Įrašų skaičiavimas

Apskaičiuojame plieninio rėmo kolonų ir sijų įrašas (ašinės jėgos ir lenkimo momentus).

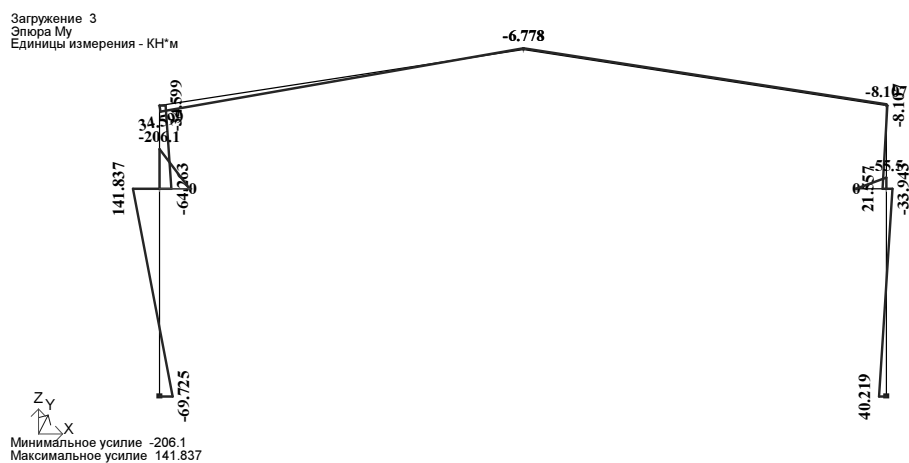
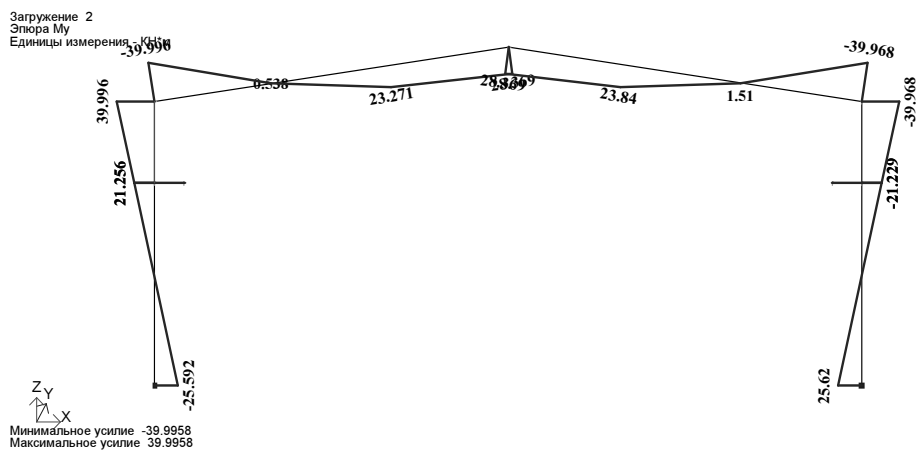
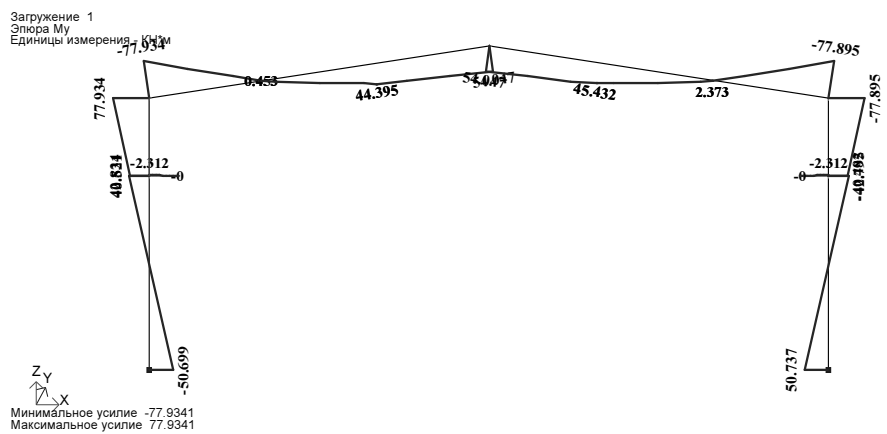
Įrašos yra skaičiuojamos atskirai nuo kiekvienos rūšies apkrovų:

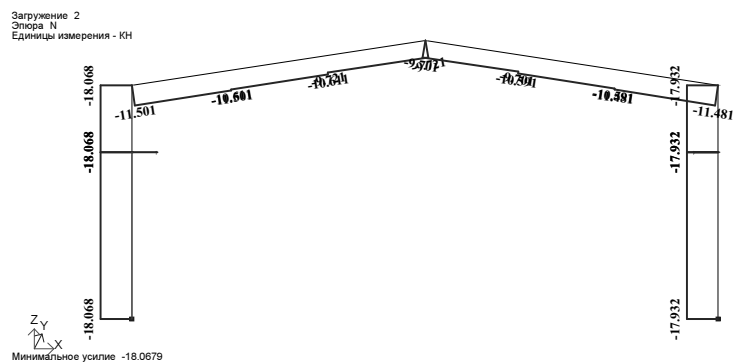
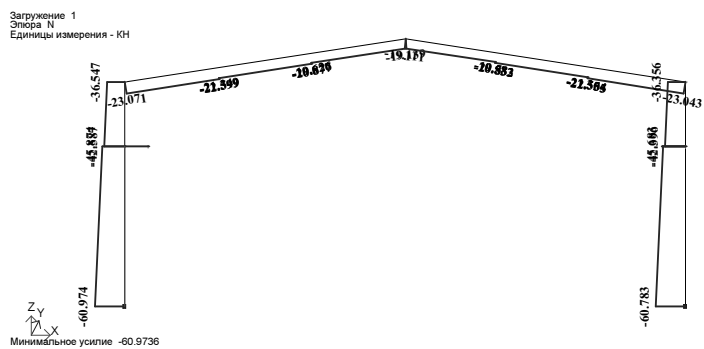
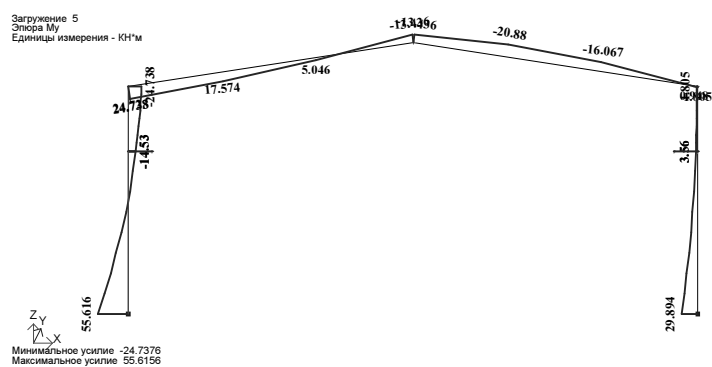
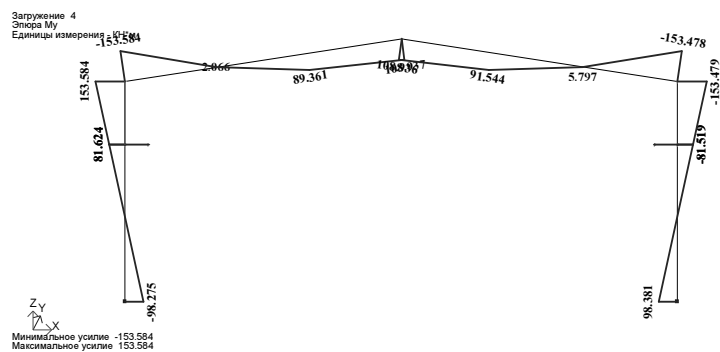
- 1) savojo svorio;
- 2) naudojimo apkrovos ant stogo;
- 3) krano vertikaliosios ir horizontaliosios apkrovos;
- 4) sniego;
- 5) vėjo.

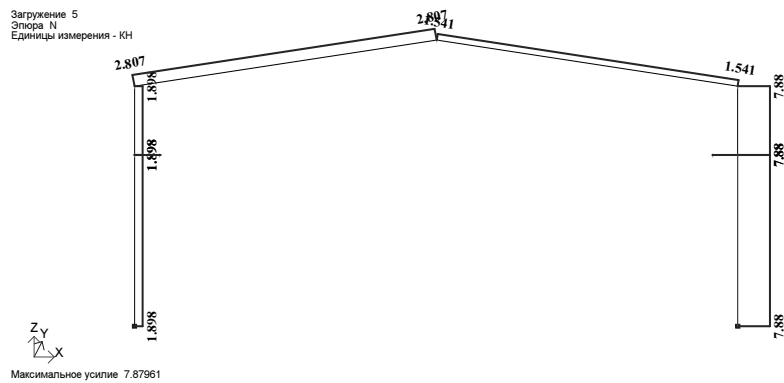
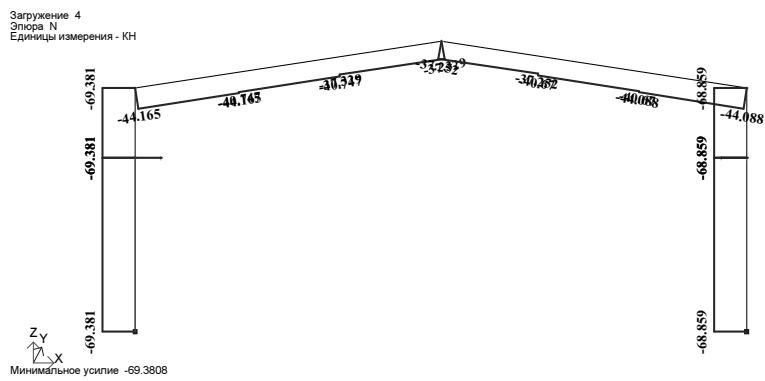
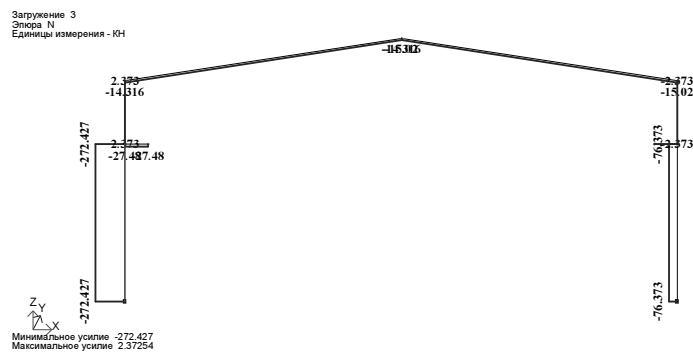
Gautos ašinės jėgos ir lenkimo momentai parodyti lentelėje (107 psl.). ir paveiksluose (108–111 psl.).

Atskirų apkrovų sukeltos ašinės jėgos ir lenkimo momentai

Apkrova	Kolona				Sija			
	elemento pradžia		elemento galas		elemento pradžia		elemento galas	
	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)
nuolatinė	60,97	-50,7	36,6	77,93	23,1	-77,93	19,1	54,1
naudojimo apkrova ant stogo	18,07	-25,6	18,07	39,99	11,5	-39,99	9,72	28,4
kranas	272,4	-69,72	-2,37	-34,60	14,32	34,60	14,32	-6,78
sniegas	69,38	-98,27	69,38	153,48	44,16	-153,6	37,3	108,94
vėjas	-1,898	55,6	-1,898	-24,7	-2,81	24,73	-2,81	-13,44







Įrašų deriniai

Apskaičiavus atskirų poveikių sukeltas įrašas, pagal EN 1990 sudarome poveikių derinius ir apskaičiuojame kolonose ir sijose šių poveikių derinių sukeliamas įrašas.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i},$$

čia $Q_{k,1}$ – nuolatinių apkrovų charakteristinė reikšmė; $Q_{k,1}$ – charakteristinė vyraujančios kintamosios apkrovos reikšmė; $Q_{k,i}$ – charakteristinė nevyraujančios kintamosios apkrovos reikšmė; $\gamma_{G,j}$; $\gamma_{Q,1}$; $\gamma_{Q,i}$ – apkrovų patikimumo koeficientai ($\gamma_{G,j}=1,35$; $\gamma_{Q,1}=\gamma_{Q,i}=1,5$); Ψ_0 – kintamųjų apkrovų derintinės reikšmės koeficientas (naudojimo apkrovai $\Psi_0=0$; vėjo apkrovai $\Psi_0=0,6$; sniego apkrovai $\Psi_0=0,5$; kranų apkrovai $\Psi_0=0,7$).

Atsižvelgiant į veikiančių apkrovų pobūdį sudaromi deriniai:

I derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot R + 1,5 \cdot 0,7 \cdot C$;

II derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot C + 1,5 \cdot 0,0 \cdot R + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$;

III derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,0 \cdot R + 1,5 \cdot 0,7 \cdot C$;

IV derinys: $1,35 \cdot G + 0,0 \cdot W + 1,5 \cdot 0,0 \cdot R + 1,5 \cdot 0,7 \cdot C + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$,

čia G – konstrukcijų savasis svoris; R – naudojimo apkrova ant stogo; C – krano apkrovos; S – sniegas; W – vėjas.

Vėjo apkrova deriniuose nevertinama, kadangi įrašos nuo jos yra palankios kitų apkrovų atžvilgiu.

Ašinės jėgos ir lenkimo momentai įvertinus apkrovų derinius

Derinys	Kolona				Sija			
	elemento pradžia		elemento galas		elemento pradžia		elemento galas	
	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)	N (kN)	M (kN·m)
I derinys	395,4	–180,1	74,0	128,9	63,5	–128,9	55,4	108,5
II derinys	542,9	–246,74	99,05	168,4	85,7	–168,4	75,2	144,6
III derinys	472,4	–289	151	299,1	112,4	–343,8	96,7	229,3
IV derinys	420,3	–215,3	98,9	183,9	79,3	–183,9	68,8	147,7

Ašinės jėgos ir lenkimo momentai įvertinus apkrovų derinius

Derinys	Kolona				Sija			
	elemento pradžia		elemento galas		elemento pradžia		elemento galas	
	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kN·m)	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kN·m)	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kN·m)	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kN·m)
I derinys	395,4	–180,1	74,0	128,9	63,5	–128,9	55,4	108,5
II derinys	541,2	–196,7	96,2	146,2	83,2	–146,2	72,7	132,5
III derinys	470,7	–239,0	149,3	276,9	109,9	–321,5	94,2	217,2
IV derinys	417,5	–131,9	96,1	146,9	75,1	–146,9	64,6	127,5

6.4. Pastatas su kompozitinėmis konstrukcijomis

Visuomeninis pastatas yra statomas Vilniuje. Jis yra dviejų aukštų. Plotis – 12,8 m, ilgis 33,8 m. Atstumas tarp kolonų išilgai pastato 5,5 m. Pastato stogas yra plokščias. Pirmojo aukšto skaičiuotinis aukštis 10 m, antrojo aukšto – 4,5 m. Visas skaičiuotinis pastato aukštis – 15,24 m. Perdangos yra kompozitinės. Plieninės sijos IPE 360, jungėmis yra sujungtos su gelžbetonine perdangos plokšte. Plokštės storis 180 mm. Plieninės sijos remiasi į kompozitines 400×400 mm skerspjuvio kolonas, kurias sudaro HEB 240 plieninis dvitėjis ir betonas.

Antro aukšto grindų konstrukcija: 50 mm storio kieta mineralinė vata; 60 mm storio smulkiagrūdžio betono sluoksnis; 10 mm storio keraminės plytelės. Stogo konstrukcija: nuolydžio trikampis (2–200 mm) 200 mm storio mineralinės vatos sluoksnis; du sluoksniai prilydomos hidroizoliacijos.

Nuolatinės apkrovos

Perdangos laikančiosios konstrukcijos sukelia nuolatinę apkrovos charakteristinę reikšmę tenkanti vienai kompozitinei sijai

$$g_k = 0,18 \cdot 5,50 \cdot 25 + 72,73 \cdot 10^{-4} \cdot 78,5 = 25,3 \text{ kN/m'}$$

Perdangos kompozitinei sijai tenkančių grindų konstrukcijų apkrovų charakteristinės reikšmės pateiktos lentelėje.

Grindų konstrukcijų apkrova sijai

Eil. Nr.	Sluoksnio pavadinimas	Charakteristinė apkrova, kN/m'
1.	Mineralinė vata	$0,05 \cdot 1,2 \cdot 5,5 = 0,33$
2.	Išlyginamasis betoninis sluoksnis	$0,06 \cdot 22 \cdot 5,5 = 7,26$
3.	Keraminės plytelės	$0,01 \cdot 21 \cdot 5,5 = 1,15$
Visa grindų apkrova		$0,33 + 7,26 + 1,15 = 8,74$

Stogo konstrukcijos apkrovos, tenkančios vienai kompozitinei sijai, duotos lentelėje.

Stogo konstrukcijos apkrova sijai

Eil. Nr.	Stogo sluoksniai	Charakteristinė apkrova, kN/m'
1.	Nuolydžio trikampis	$(0,02 + 0,2) \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 5,5 = 6,05$
2.	Šilumos izoliacija	$0,2 \cdot 1,2 \cdot 5,5 = 1,32$
3.	Stogo danga	$0,01 \cdot 11 \cdot 5,5 = 0,605$
Visa stogo apkrova		7,97

Naudojimo apkrovos

Kadangi pastatas yra visuomeninis, tai perdangos naudojimo apkrova $2,0 \text{ kN/m}^2$. Vienai kompozitinei sijai tenkanti apkrova

$$q_k = 2,0 \cdot 5,5 = 11 \text{ kN/m'}$$

Naudojimo apkrova ant stogo $0,4 \text{ kN/m}^2$. Vienai kompozitinei sijai tenkanti stogo naudojimo apkrova

$$q_{k, \text{stogo}} = 0,4 \cdot 5,5 = 2,2 \text{ kN/m'}$$

Sniego apkrovos

Lietuvoje, Vilnius yra II sniego apkrovos rajone. Šio rajono sniego apkrova ant žemės paviršiaus $1,6 \text{ kN/m}^2$.

Pastato stogas yra plokščias ($0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$), todėl sniego apkrovos formos koeficientas

$$\mu_1 = 0,8.$$

Sniego apkrovos charakteristinė reikšmė tenkanti vienai kompozitinei sijai

$$s_k = 1,6 \cdot 0,8 \cdot 5,5 = 7,04 \text{ kN/m'}$$

Vėjo apkrovos

Vilnius yra I vėjo greičio rajone. Vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė I rajone 24 m/s.

Bazinis vėjo greitis

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24 = 24 \text{ m/s},$$

čia c_{dir} – koeficientas įvertinantis vėjo kryptį (rekomenduojama reikšmė =1,0); c_{season} – sezoną vertinantis koeficientas (rekomenduojama reikšmė =1,0).

Kadangi $b < h \leq 2b$, tai vėjo slėgio pasiskirstymas per pastato aukštį parodytas žemiau esančiame paveiksle.

Vidutinis vėjo greitis ($v_m(z)$) z aukštyje yra apskaičiuojamas

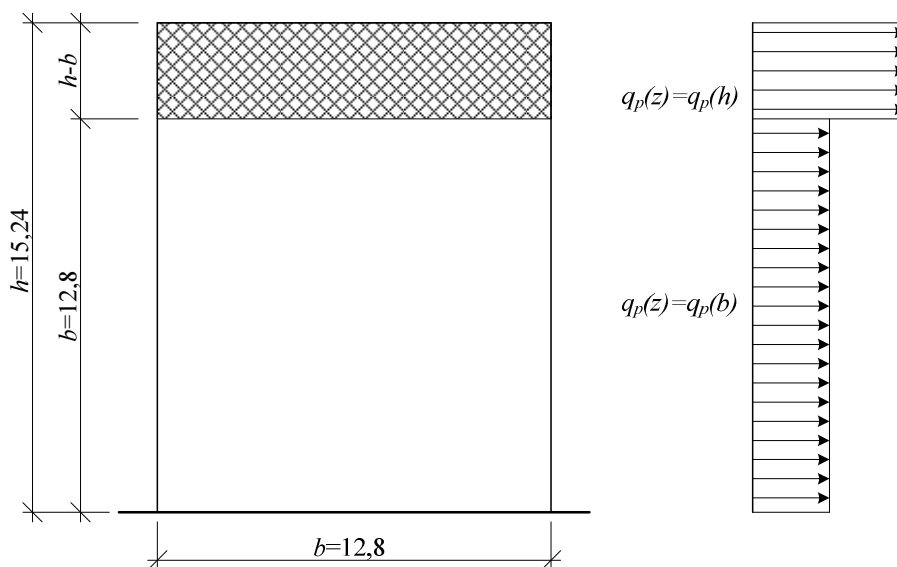
$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b,$$

čia $c_r(z)$ – šiurkštumo koeficientas; $c_0(z)$ – kalnuotumo koeficientas (=1,0).

Šiurkštumo koeficientas $c_r(z)$ priklauso nuo pastato aukščio ir vietovės

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), \text{ kai } z_{\min} \leq z \leq 200 \text{ m},$$

čia k_r – vietovės koeficientas, priklausantis nuo šiurkščiojo ruožo ilgio z_0 ; z_0 – vietovėje esančių nelygumų aukštis.



Vėjo slėgio $q_p(z)$ pasiskirstymas per pastato aukštį

Pavyzdyje nagrinėjamas pastatas statomas III kategorijos vietovėje. Todėl

$$z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}.$$

Vietovės koeficientas k_r apskaičiuojamas taip:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215.$$

Apskaičiuojame šiurkštumo koeficientą $z_1 = 12,8 \text{ m}$ aukštyje ir $z_2 = 15,24 \text{ m}$ aukštyje.

$$c_r(z_1) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{12,8}{0,3} \right) = 0,807;$$

$$c_r(z_2) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{15,24}{0,3} \right) = 0,844.$$

Vidutinis vėjo slėgis $z_1 = 12 \text{ m}$ ir $z_2 = 14,5 \text{ m}$ aukščiuose

$$v_m(z_1) = 0,807 \cdot 1,0 \cdot 24 = 19,36 \text{ m/s};$$

$$v_m(z_2) = 0,844 \cdot 1,0 \cdot 24 = 20,26 \text{ m/s}.$$

Vėjo slėgis z aukštyje apskaičiuojamas

$$q_p(z) = \left(1 + \frac{7 \cdot k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z).$$

Todėl z_1 ir z_2 aukščiuose jis yra

$$q_p(z_1) = \left(1 + \frac{7 \cdot 1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{12,8}{0,3}\right)} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,36^2 = 671 \text{ N/m}^2 = 0,671 \text{ kN/m}^2;$$

$$q_p(z_2) = \left(1 + \frac{7 \cdot 1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{15,24}{0,3}\right)} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,26^2 = 713 \text{ N/m}^2 = 0,713 \text{ kN/m}^2.$$

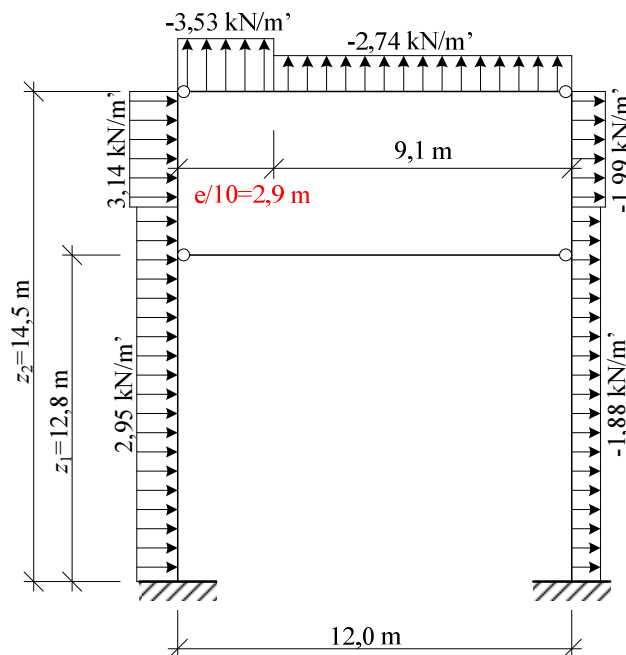
Vėjo apkrovos į pastato paviršių charakteristinė reikšmė apskaičiuojama

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe},$$

čia c_{pe} – vėjo slėgio koeficientas.

Vėjo slėgio koeficientų reikšmės yra parodytos žemiau esančiame paveiksle.

116



Pastato plokščią rėmą veikiančių vėjo apkrovų pasiskirstymo schema

Įrašos ir deriniai

Nuolatinių ir trumpalaikių skaičiuotinių situacijų deriniai yra sudaromi pagal 1.10 lygtį

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i},$$

čia $G_{K,j}$ – nuolatinės apkrovos; P – išankstinio apgnuiždymo jėgos; $Q_{K,1}$ – kintamoji vyraujančio poveikio charakteristinė reikšmė; $Q_{K,i}$ – kintamojo nevyraujančio i -ojo poveikio charakteristinė reikšmė; $\gamma_{G,j}$ – dalinis nuolatinių poveikių koeficientas; γ_p – išankstinio įtempio poveikių dalinis koeficientas; $\gamma_{Q,1}$ – kintamojo vyraujančio poveikio dalinis koeficientas; $\gamma_{Q,i}$ – kintamojo nevyraujančio i -ojo poveikio dalinis koeficientas; $\Psi_{0,i}$ – kintamojo poveikio derintinės reikšmės koeficientas. Šių koeficientų reikšmės naudojimo apkrovai – 0,7; sniego apkrovai – 0,5; vėjo apkrovai – 0,6.

Perdangos kompozitinės sijos įrašos

Kompozitinės sijos į kolonas yra atremtos lanksčiai. Tikrinant šių sijų statmenojo pjūvio laikomąją galią būtina apskaičiuoti nuolatinės apkrovos ir naudojimo apkrovos sukeltus lenkimo

momentus. Vertinant naudojimo apkrovą pagal 3.1 sąlygą gali būti dauginama iš redukcijos koeficiento α_A , kuris apskaičiuojamas taip

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{5,5 \cdot 12} = 0,651.$$

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_g + \gamma_Q \cdot \alpha_A \cdot M_Q = 1,35 \cdot 612,7 + 1,5 \cdot 0,651 \cdot 198,0 = 1021 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

Stogo kompozitinė sija

Stogo kompozitinėse sijose lenkimo momentus sukelia nuolatinė ir sniego apkrovos, arba nuolatinė ir naudojimo apkrovos. Pagal LST EN 1991–1–1 stogą vienu metu negali veikti naudojimo ir sniego arba vėjo apkrovos.

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_g + \gamma_Q \cdot M_s = 1,35 \cdot 599 + 1,5 \cdot 126,7 = 999 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_g + \gamma_Q \cdot M_q = 1,35 \cdot 599 + 1,5 \cdot 39,6 = 868 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

Pirmo aukšto kolonų įrašos

Nuo atskirų apkrovų poveikio apskaičiuotos kolonų įrašos

- nuolatinė apkrova (G): $N_g = 473 \text{ kN}$; $M_g = 0$;
- naudojimo apkrova (virš I a. perdangos) (Q): $N_q = 66 \text{ kN}$; $M_q = 0$;
- naudojimo apkrova (virš stogo) (Q_s): $N_{qs} = 13,2 \text{ kN}$; $M_{qs} = 0$;
- sniegas (s): $N_s = 42,24 \text{ kN}$; $M_s = 0$;
- vėjas (w): $N_w = -18,45 \text{ kN}$; $M_w = 275 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Nagrinėjami trys deriniai:

I derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S + 0,0 \cdot 0,6 \cdot W$;

II derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q + 0,0 \cdot 0,6 \cdot W$;

III derinys: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q$.

Apskaičiuojame ašines jėgas ir lenkimo momentus:

I derinys: $N_{Ed} = 1,35 \cdot 473 + 1,5 \cdot 66 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 42,24 + 0,0 \cdot 0,6 \cdot (-18,45) = 769,2 \text{ kN}$;

$$M_{Ed}=0;$$

II derinys: $N_{Ed}=1,35\cdot 473+1,5\cdot 42,24+1,5\cdot 0,7\cdot 66+0,0\cdot 0,6\cdot (-18,45)=771,2 \text{ kN};$

$$M_{Ed}=0;$$

III derinys: $N_{Ed}=1,35\cdot 473+1,5\cdot (-18,45)+1,5\cdot 0,5\cdot 42,24+1,5\cdot 0,7\cdot 66=711,8 \text{ kN};$

$$M_{Ed}=1,5\cdot 275=412,5 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$