



Perustuskuormat ilmiönä ja tä- rinäeristeet rakennesuunnitteli- jan näkökulmasta

Eetu Tapanila

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TAPANILA, EETU:

Perustuskuormat ilmiönä ja tärinäeristeet rakennesuunnittelijan näkökulmasta

Opinnäytetyö 42 sivua

Kesäkuu 2021

Tämä opinnäytetyö tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia perustuskuormitusta ilmiönä ja yhtenäistää tärinäeristimien mitoitusvaadittavat lähtötiedot akustiikkasuunnittelijalle. Tärinäeristimien tarkoituksena on vaimentaa perustuksissa tapahtuvaa värähtelyä, joka voi ilmentyä esimerkiksi runkomeluna. Runkomelu on maaperässä tapahtuvaa värähtelyä, jonka voi aiheuttaa esimerkiksi liikenne, maanrakennustyöt tai maankuoren järkkäminen.

Opinnäytetyön perusteella tehtiin yhteinen ohjeistus akustiikkasuunnittelijan tarvitseville lähtötiedoille. Opinnäytetyössä käsitellään perustuskuormitusta ilmiönä, tärinäeristimille tulevaa kuormitusta ja akustiikkasuunnittelijan tarvitsemia lähtötietoja oikean tärinäeristimen valintaan. Opinnäytetyö käsittelee tärinäeristimille tulevan kuorman laskentaa sekä tarvittavien lähtötietojen tuottamista akustiikkasuunnittelijalle. Työstä rajattiin pois tärinäeristimien mitoitus ja valinta.

Opinnäytetyössä haasteen tuotti tärinäeristys, koska tärinäeristimien käyttötilanteen kuormituksesta puuttuu standardi. Lopputuloksena laadittiin ohjeistus akustiikkasuunnittelijoille lähetettävien yhtenäisten lähtötietojen tuottamiseen. Ohje on tehty helpottamaan rakennesuunnittelijan työtä ja näin ollen tukee rakennesuunnittelijaa lähtötietojen tuottamisessa. Ohjeistuksen avulla lähtötietojen tuottaminen sekä analysointi nopeutuu. Ohjeistus helpottaa myös akustiikkasuunnittelijalta saadun tiedon vientiä rakennemalliin. Opinnäytetyön perusteelta saatu luottamuksellinen ohjeistus on poistettu julkisesta versiosta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

TAPANILA EETU:

Foundation Loads as a Phenomenon and Vibration Dampers from the Structural Designer's Point of View

Bachelor's thesis 42 pages
June 2021

The thesis was commissioned by A-Insinöörit Suunnittelu Oy. The purpose of the thesis was to study the foundation loads as a phenomenon and to unify the necessary data required for the dimensioning of the vibration dampening of acoustic designer and to create instructions for the use of an existing tool. The purpose of the vibration dampening is to reduce the vibrations of the foundation, which can occur, for example as a structure-borne noise.

On the basis of the thesis, common guidelines were prepared for the initial data of an acoustic designer. The thesis dealt with the foundation loads as phenomenon, as well as the loads of vibration dampers and the input data needed by the acoustic designer to select the right vibration damper. Vibration damper sizing and damper selection were excluded from the work. The thesis dealt with the calculation of the loads of vibration dampers and the production of input data for an acoustic designer.

The challenge in the work was vibration dampening, because in the operation of vibration dampers, there is no standard for the loads. As a result, guidelines were developed to reduce uniform input data for acoustic designers. The guide is designed to facilitate the structural designers' work, and thus support the structural designer in producing input data. Guidance speeds up to export the information received by the acoustic designer to the structural model. The confidential material of the thesis has been removed from the public topic.

Key words: foundation load, vibration dampening, structure-borne noise insulation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	RAKENNUKSEN PERUSTUSKUORMAT	6
2.1	Perustuskuormitus	6
2.1.1	Oma paino	7
2.1.2	Lumikuorma.....	8
2.1.3	Tuulikuorma.....	13
2.1.4	Hyötykuorma	29
2.2	Osavarmuuslukumenetelmä ja kuormitusyhdistelmät	32
2.2.1	Käyttörajatila.....	34
2.2.2	Murtorajatila.....	34
3	AKUSTIKOIDEN TARVITSEMAT LÄHTÖTIEDOT	36
3.1	Piirustukset	36
3.2	Laskenta	38
4	POHDINTA	40
	LÄHTEET.....	41

1 JOHDANTO

Perustuskuormitus on oleellinen osa rakentamista. Opinnäytetyö keskittyy perustuskuormitukseen sekä runkomelueristeisiin rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia perustuskuormitusta ilmiönä sekä runkomelueristeiden lähtötietoja rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Opinnäytetyön pohjalta tehdään yksikköön sisäinen ohjeistus runkomelueristeiden lähtötietojen toimittamiseen. Opinnäytetyön tavoitteena on yhtenäistää yksikön tapa toimittaa lähtötietoja akustiikan suunnittelijoille.

Työn toimeksiantaja on A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Yritys on osa A-Insinöörit-yritystä. Yritys on perustettu 1959. A-Insinöörien henkilöstömäärä on noin 820 henkilöä. Toimialoja on kolme: rakennuttaminen, rakennesuunnittelu ja yhdyskunta- ja ympäristösuunnittelu. Toimipaikkoja A-Insinööreillä on 12. (A-Insinöörit Oy, 2021.)

Opinnäytetyö keskittyy rakennesuunnittelijan näkökulmaan. Opinnäytetyössä on tavoitteena runkomelueristeiden kuormitusten laskenta sekä yhtenäistää lähtötietojen tuottaminen. Opinnäytetyö ei keskity itse tärinäeristeiden mitoittamiseen ja toimintaan, vaan vain tarvittavien lähtötietojen tuottamiseen akustiikan suunnittelijoille.

2 RAKENNUKSEN PERUSTUSKUORMAT

2.1 Perustuskuormitus

Perustuksien tarkoitus on siirtää kaikki rakennuksen kuormitukset rakennuksen maapohjaan (by210 2008, 445). Eli kaikki rakennuksen kuormat kulkeutuvat perustuksiin ja niitä pitkin maapohjaan. Perustukset tulee suunnitella niin, että perustukset ja maaperä kestävät niille tulevat kuormat (Elementtisuunnittelu 2021).

Perustuksille tulevat kuormat lasketaan eurokoodin kuormitustapausten mukaisesti.

Perustuskuormitus tulee yleisesti ylempien rakenteiden kuormituksesta, jonka rakenne johtaa perustuksiin. Perustuksien kuormitukseen vaikuttavat mm. tuuli, lumi, hyötykuorma, maanpaine ja rakenteiden oma paino. Perustuksiin vaikuttaviin ilmiöihin kuitenkin vaikuttaa rakenteen, rakennuksen tai rakennuksen ympäristön eri tekijät, esimerkiksi maastoluokan vaikutus altistuskertoimeen. Kuormitukset kulkeutuvat perustuksiin ylhäältä ja ne jakaantuvat liitoskohdissa liittyvien osien jäykkyyksien suhteessa. Tuulen aiheuttaman kuormituksen jakautumiseen vaikuttaa rakennusta jäykistävät rakenneosat sekä niiden väliset jäykkyyssuhteet. Kuormien jakautuminen rakenteissa on sidonnainen esimerkiksi rakenteen korkeuteen ja raudoitussuhteeseen.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) todetaan, että rakennus on suunniteltava ja toteutettava siten, että rakennuksessa syntyvistä melualtistuksesta ja ääniosuhteista ei aiheudu vaaraa terveydelle, levolle tai työnteolle. Maaperässä tapahtuva värähtely voi aiheuttaa rakennuksessa niin sanottua runkomelua. Runkomelu on pienitaajuista melua, joka havaitaan kuuloaistilla (A-Insinöörit Oy, 2021). Runkomelua voidaan vähentää tärinäeristeiden avulla. Tärinäeristeet sijoitetaan tavanomaisesti perustusten ja vasta-anturoiden väliin. Opinnäytetyö ei ota kantaa tärinäeristeiden sijoittamisesta anturan ja seinän tai pilarin väliin. Tärinäeristeiden mitoitus tapahtuu opinnäytetyön kappaleen 3.2 mukaisesti.

Perustuskuormia laskiessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi rakenteiden oman painon mahdollinen epätarkkuus. Epätarkkuuksista tulee ottaa huomioon edulliset ja epäedulliset vaikutukset. Rakennuksen lumikuorma riippuu rakennuksen katon muodosta ja kaltevuudesta. Rakennuksen lumikuormien muodostukseen liittyvät asiat huomioidaan lumikuormien laskennassa. Yksittäisen perustuksen kuormituksissa otetaan huomioon myös katolta tulevan lumikuorman jakaantuminen seinille, eli yleisesti kuormitusala. Rakennuksen ympäristö vaikuttaa tuulenpaineeseen, eli laskenta ottaa huomioon rakennuksen ympäristön. Tuulen voimakkuuteen vaikuttaa, sijaitseeko rakennus avarassa maastossa, vai kaupungissa muiden korkeiden rakennusten ympäröimänä. Rakennuksen kokonaistuu-livoimaan sidoksissa ovat myös rakennuksen mitat. Rakennukseen kohdistuva tuuli otetaan huomioon tarkemmin opinnäytetyön kohdassa 2.1.3. Perustuksien hyötykuormitukseen vaikuttaa myös kuormitusala. Eurokoodin mukainen hyötykuormien pienentäminen on mahdollista ja tämä on esitetty tarkemmin opinnäytetyön luvussa 2.1.4. Eri kuormitusyhdistelmien käyttäminen perustuskuormitusten laskennassa tapahtuu opinnäytetyön luvun 2.2 mukaisesti.

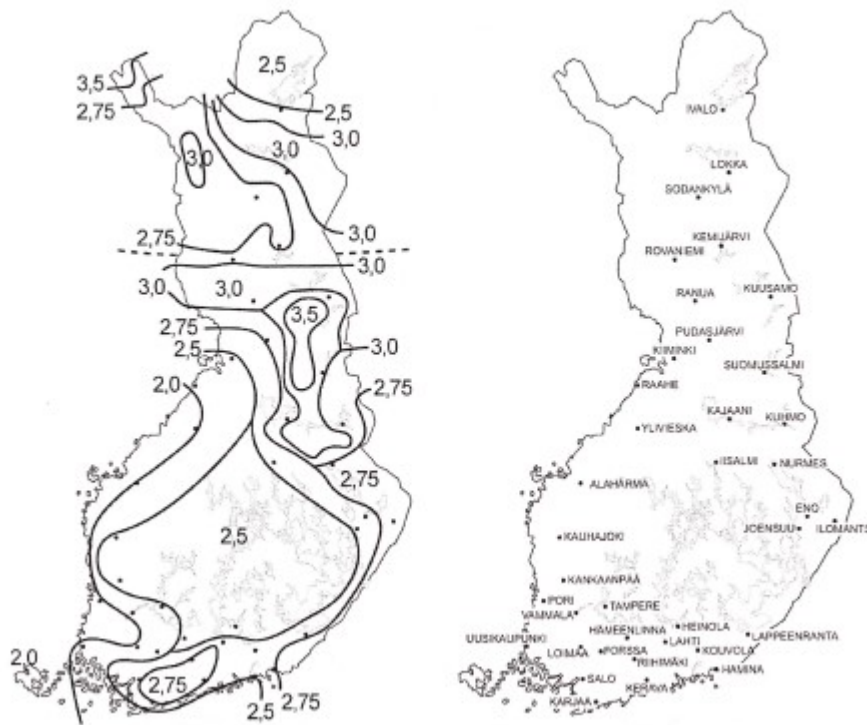
2.1.1 Oma paino

Rakenteiden oman painon laskenta perustuu rakenneosien tilavuuspainosta ja nimellismitoista saatuun tulokseen. Rakenteiden nimellismittoina pidetään piirustuksissa esiintyviä arvoja, eli laskennassa voidaan käyttää piirustuksissa esitettyjä arvoja. Jos oma paino vaihtelee ajan suhteen, on laskennassa otettava huomioon ominaisarvojen ylä- ja alaraja. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 18,24.) Oman painon laskennassa otetaan huomioon kantavat ja ei-kantavat seinät, kiinteät laitteet ja maakerroksen tai sepelikerroksesta johtuvat massat. Rakenteiden kevyiden väliseiniä aiheuttamat kuormat lasketaan kuitenkin hyötykuormiksi. (RIL 201-1 2017, 67.) Rakenteen oma paino voidaan määrittää keskiarvona G_k , jos vaihtelu on pientä, tai Gaussin tilastollisesti jakautuneina 0,05-fraktiili $G_{k,inf}$ ja 0,95-fraktiili $G_{k,sup}$ arvoina, mikäli vaihtelua ei voida pitää pienenä. (RIL 201-1 2017, 31.)

2.1.2 Lumikuorma

Rakennukselle määritellään lumikuormat standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan, ja ne luokitellaan muuttuviksi ja kiinteiksi kuormiksi (SFS-EN 1991-1-3 2015, 20). Lumikuorma vaikuttaa katolla aina kauttaaltaan ja sen liikkuvuus huomioidaan vain standardissa esitettyjen tapausten mukaisesti.

Maanpinnan lumikuorman oletusarvot perustuvat 2 % vuotuisen ylittämistodennäköisyyteen, eli 50 vuoden keskimääräiseen toistumis- tai ylittymisaikaan. Kuvan 1. kartassa esiintyvät lumikuormien arvot maanpinnalla ovat vähimmäisarvoja. (RIL 201-1 2017, 98.)



KUVA 1. Lumikuormat maanpinnalla s_k , yksikkö kN/m^2 (Ympäristöministeriö 2016, 2).

Lumikuormaa laskiessa on otettava huomioon mahdollisuus lumen kinostumiselle katolla. Lumen kinostusta katolla aiheuttavat esimerkiksi muoto, lämpöominaisuudet, alla syntyvä lämpöhäviö, toisten rakennusten läheisyys, ympäröivä maasto, sekä sääolosuhteet. (RIL 210-1 2017, 100.) Katon lumikuorma lasketaan kaavalla 1.

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (1)$$

jossa

- μ_i on lumikuorman muotokerroin
 C_e on tuulensuojaisuuskerroin
 C_t on lämpökerroin, jonka arvo tavallisesti on 1,0
 s_k on maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m²]
 (SFS-EN 1991-1-3 2015, 28).

Tuulensuojaisuuskerroimien arvot C_e näytetään taulukossa 1. Katon lyhyemmän sivumitan ylittäessä 50 m taulukon arvot kerrotaan taulukon 2. mukaisilla korotuskertoimilla. (RIL 201-1 2017, 100.)

TAULUKKO 1. Tuulensuojaisuuskerroimien arvot (SFS-EN 1991-1-3 2015, 30).

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen	0,8 ($\geq 1,0$, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

TAULUKKO 2. Tuulensuojaisuuskerroimien mahdolliset korotusarvot (Ympäristöministeriö 2016, 2).

Lyhyt sivu (m)	Pitkän sivun suhde lyhyeen sivuun	
	1	2
50	1,0	1,1
75	1,1	1,2
100	1,2	1,25

Lämpökerroimella C_t voidaan vähentää katon lumikuormitusta, mikäli lämmöneristys on vähäinen. Kerroin perustuu lämpöhäviöstä johtuvaan lumen sulamiseen eli katon alapuolisten rakenteiden hukkalämpöön. Suomessa lumikuorman minimi mitoitussarvo on kuitenkin 0,5 kN/m². (RIL 201-1 2017, 101.)

Katon lumikuorman muotokerroimet μ esitellään eurokoodissa seuraavissa tapauksissa: pulpetti-, harja-, saha-, kaari-, korkeampaa rakennuskohdetta vasten

oleva katto, kinostus ulkonemiin ja esteisiin. (SFS-EN 1991-1-3 2015, 32–39, 42–44.)

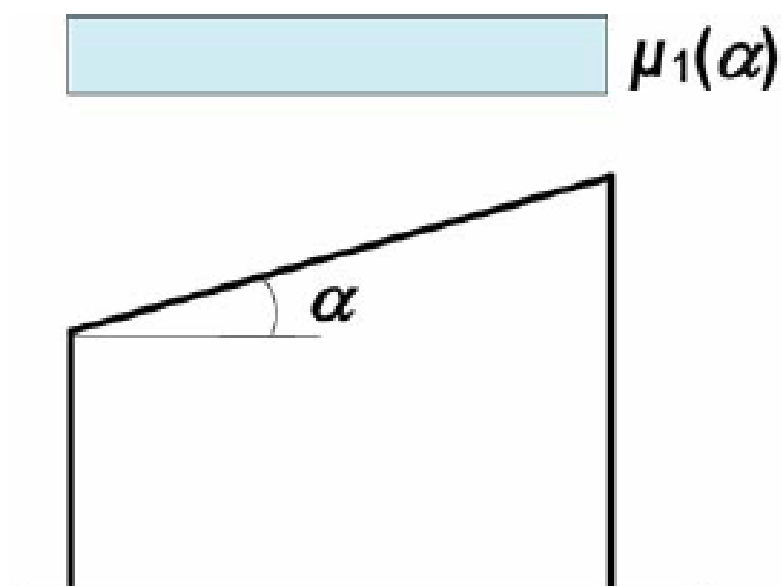
Taulukossa 3. esitetään lumikuormien muotokertoimet sekä niiden laskenta.

TAULUKKO 3. Lumikuorman muotokertoimien laskenta, taulukko ei huomioi lumiesteitä (SFS-EN 1991-1-3 2015, 32).

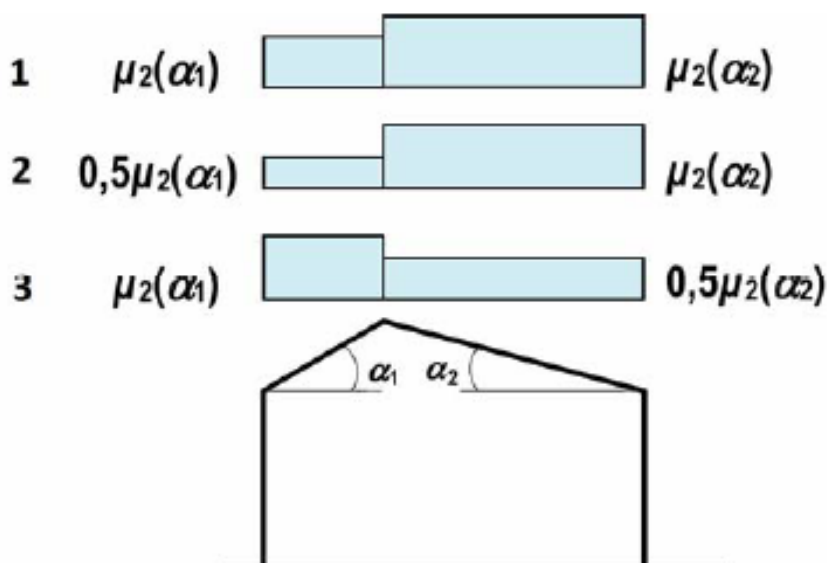
Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{60^\circ - \alpha}{30^\circ}$	0,0
μ_2	0,8	$0,8 \frac{60^\circ - \alpha}{30^\circ}$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8 \alpha / 30^\circ$	1,6	-

Jos katolla on lumieste tai muu vastaava lumen putoamista estävä esimerkiksi kaide, on lumikuorman muotokerroin $\mu_2 \geq 0,8$ (RIL 201-1 2017, 102).

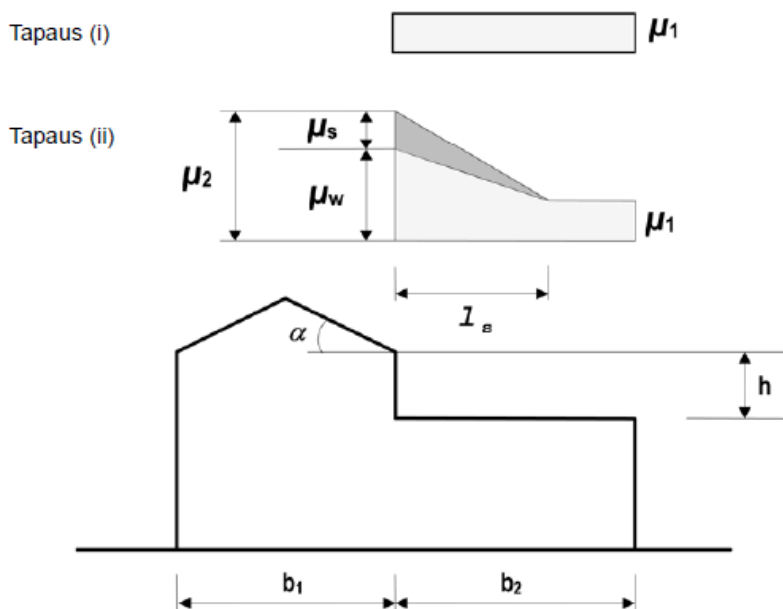
Erilaisten kattojen kuormituskaaviot on esitetty kuvien 2–5 avulla. Kuvassa 6. on esitetty katolla sijaitsevien ulokkeiden vaikutus lumen muotokertoimeen.



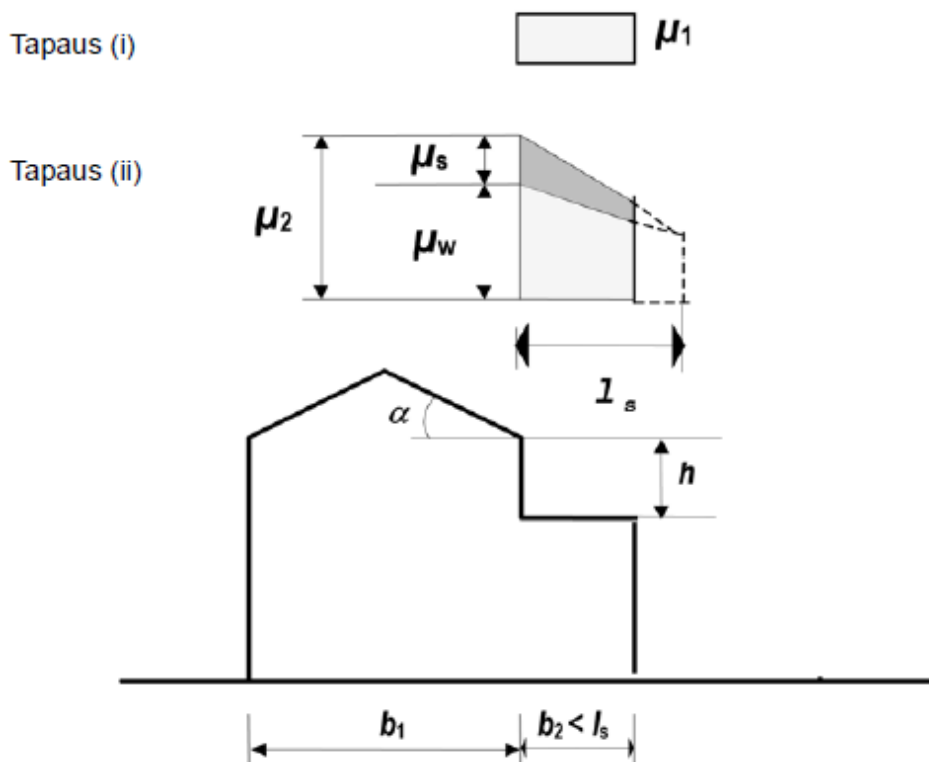
KUVA 2. Lumikuorman muotokerroin pulpettikattoisessa rakennuksessa (SFS-EN 1991-1-3, s.32).



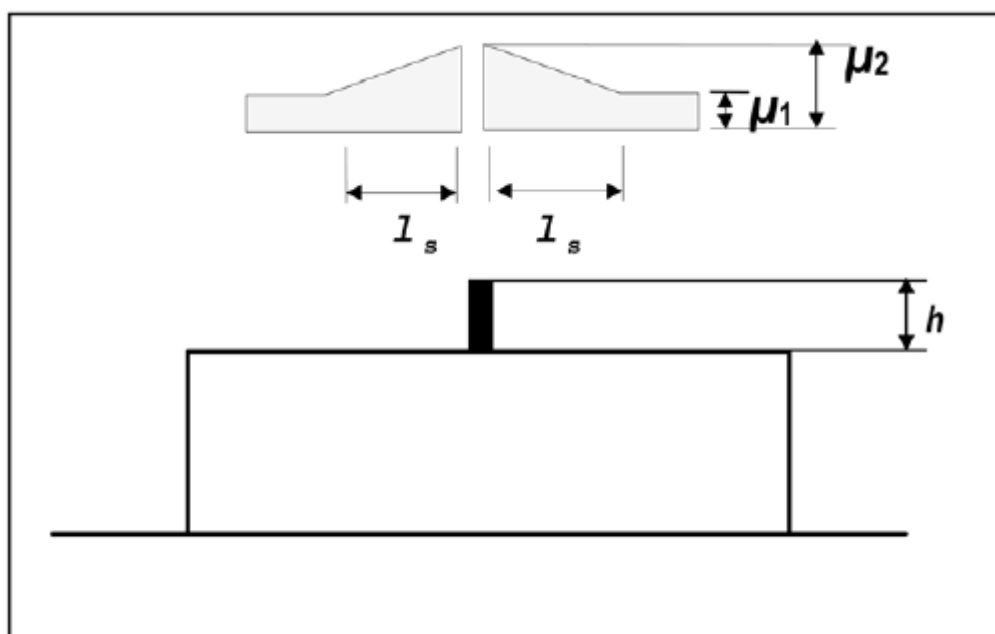
KUVA 3. Lumikuorman muotokerroin harjakattoisessa rakennuksessa (SFS-EN 1991-1-3, 34). Tapauksessa 1 on katolla kinostumaton lumi. Tapauksissa 2 ja 3 kyseessä on kinostunut lumi.



KUVA 4. Tapaus (i) kinostumaton lumi. Tapaus (ii) kinostunut lumi. Muotokerroin μ_2 huomioi ylemmältä katolta putoavan lumen μ_s sekä korkeampaa rakennuskohdetta vasten kinostuvan lumen μ_w . (SFS-EN 1991-1-3, 42.)



KUVA 5. Rakennuksen alemman katon pituus on pienempi kuin kinostuspituus. Tapaus (i) kinostumaton lumi. Tapaus (ii) kinostunut lumi. Muotokerroin μ_2 huomioi ylemmältä katolta putoavan lumen μ_s sekä korkeampaa rakennuskohdetta vasten kinostuvan lumen μ_w . (SFS-EN 1991-1-3, 42.)



KUVA 6. Ullokkeiden ja esteiden vaikutus lumen muotokertoimeen (SFS-EN 1991-1-3, 44).

2.1.3 Tuulikuorma

Tuulikuorman mitoittamisessa sovelletaan standardia EN 1991-1-4 (RIL 201-1-123). Tuulikuormien arvot vaihtelevat satunnaisesti ajan funktiona aiheuttaen painetta umpinaisten rakennusten ulkopinnoille sekä sen huokoisuuden takia myös välillisesti rakennuksen sisäpinnalle. Eli tuulen luodessa paineen rakennuksen ulkopinnalle, synnyttää se myös rakenteen sisäpintaan paineen, joka voi olla positiivinen tai negatiivinen. (RIL 201-1 2017, 127.)

Eurokoodissa 1991-1-4 käytetään ominaisarvoja, jotka määrittävät tuulennopeuden ja nopeuspaineiden perusarvoista. Perusarvot vastaavat 2 % vuotuista ylittämistodennäköisyyttä, eli toisin sanoen mitoitettavan tuulen toistumisjakso tapahtuu keskimäärin 50 vuoden välein. Tuulennopeuden perusarvo v_b määritetään maanpinnasta 10 m korkeudessa keskiarvona 10 minuutin ajalta. Tuulennopeuden perusarvo lasketaan kaavalla 2. (RIL 201-1 2017, 127.) Tuulennopeuden modifioitu perusarvo ottaa huomioon maaston rosoisuuden sekä maaston pinnanmuodot. Modifioitu tuulen perusarvo $v_m(z)$ saadaan laskettua alla olevasta kaavasta 3.

$$v_b = c_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2)$$

jossa

- v_b on tuulennopeuden perusarvo, joka määrittää tuulen suunnan ja vuodenajan funktiona. Mittausympäristönä toimii maastoluokan II tyyppinen ympäristö ja mittauspiste sijaitsee 10 m korkeudessa.
- C_{dir} on suuntakerroin, jonka suositusarvo on 1,0
- C_{season} on vuodenaikakerroin, jonka suositusarvo on 1,0 (tilapäisrakenteissa ja toteutumisvaiheissa voidaan rakenteissa ottaa huomioon vuodenaajat)
- $v_{b,0}$ on tuulennopeuden modifioimaton perusarvo (SFS-EN 1991-1-4 2011, 32).

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b \quad (3)$$

jossa

$v_m(z)$ on tuulenopeuden modifioitu perusarvo

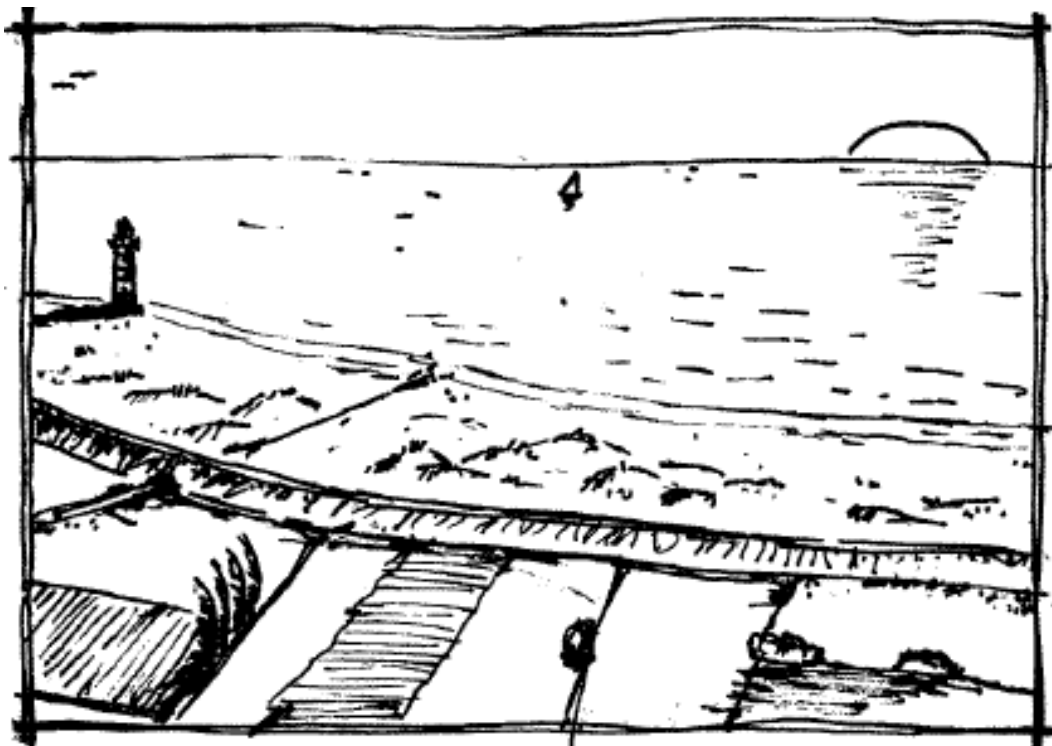
$C_r(z)$ on maaston rosoisuuskerroin, joka selviää EN 1991-1-4 kohdasta 4.3.1 ja kansallisesta liitteestä

$C_0(z)$ on pinnanmuotokerroin, joka on 1,0

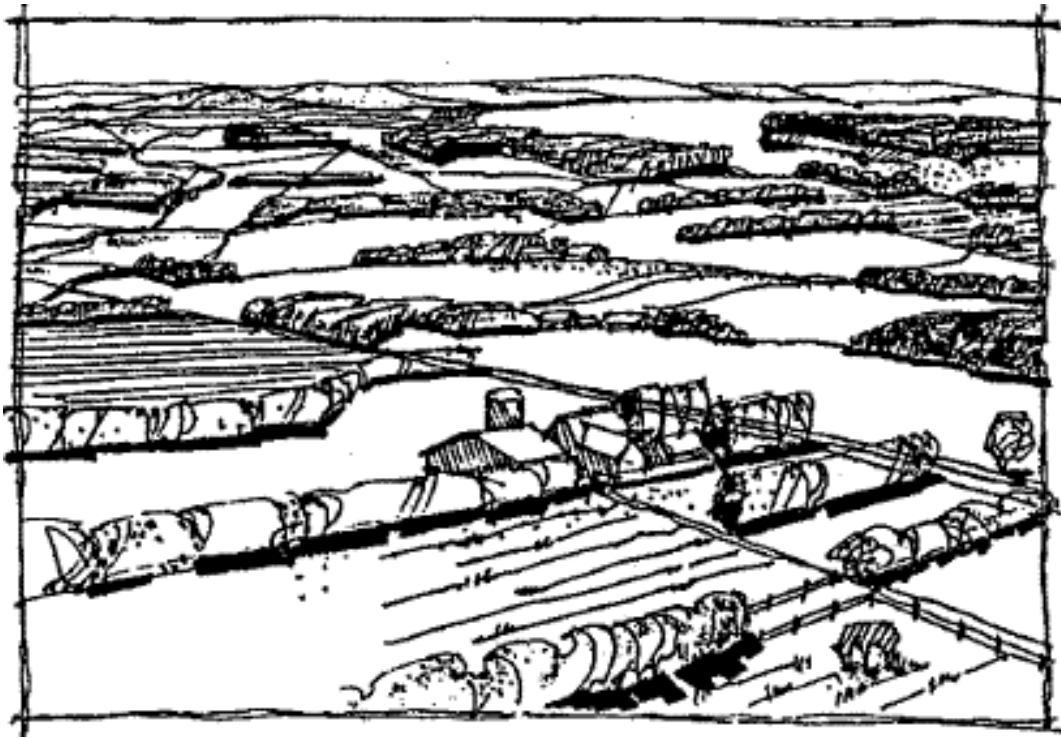
v_b on tuulenopeuden perusarvo, joka määritellään tuulen suunnan ja vuodenajan funktiona. Mittausympäristönä toimii maastoluokan II tyyppinen ympäristö ja mittauspiste sijaitsee 10 m korkeudessa.

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 32,34).

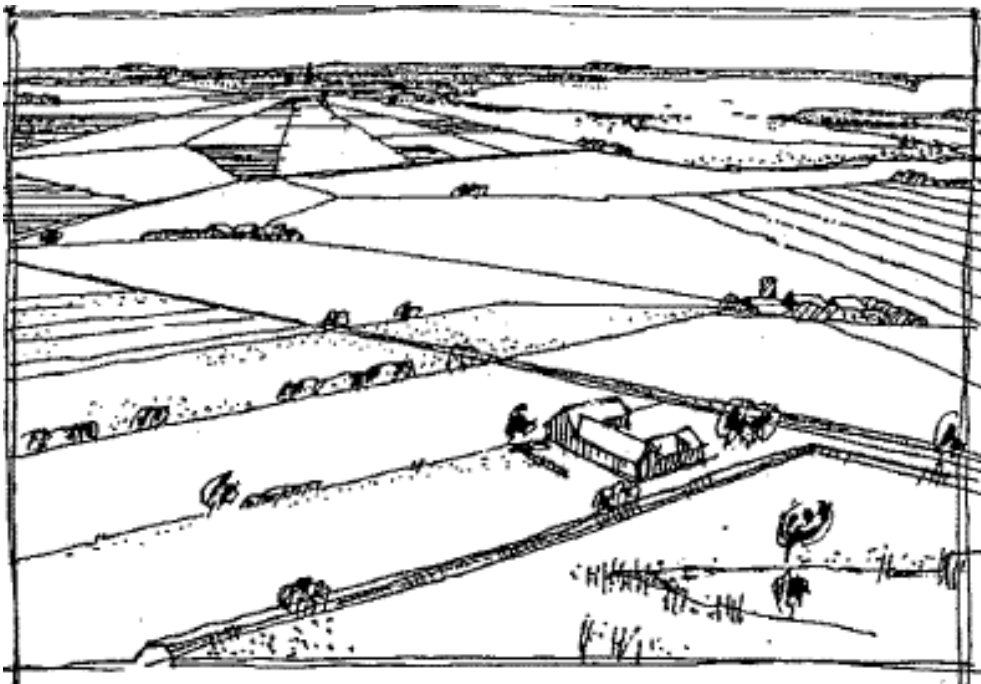
Rosoinen ympäristö rakennuksen ympärillä vaikuttaa tuulen voimakkuuteen. Eurokoodi jaottelee maasto-olosuhteet maanpinnan rosoisuuden mukaan viiteen kategoriaan. Jaottelu tapahtuu kuvien 7–11 tavalla. (RIL 201-1 2017,130.) Altistuskertoimen $c_e(z)$ esitetään kuvan 12. mukaisesti maastoluokan sekä maasta mitatun korkeuden funktiona (SFS-EN 1991-1-4, 2011, 40). Pinnanmuodoista riippumaton tuulenopeus määritetään kuvan 13. mukaisesti.



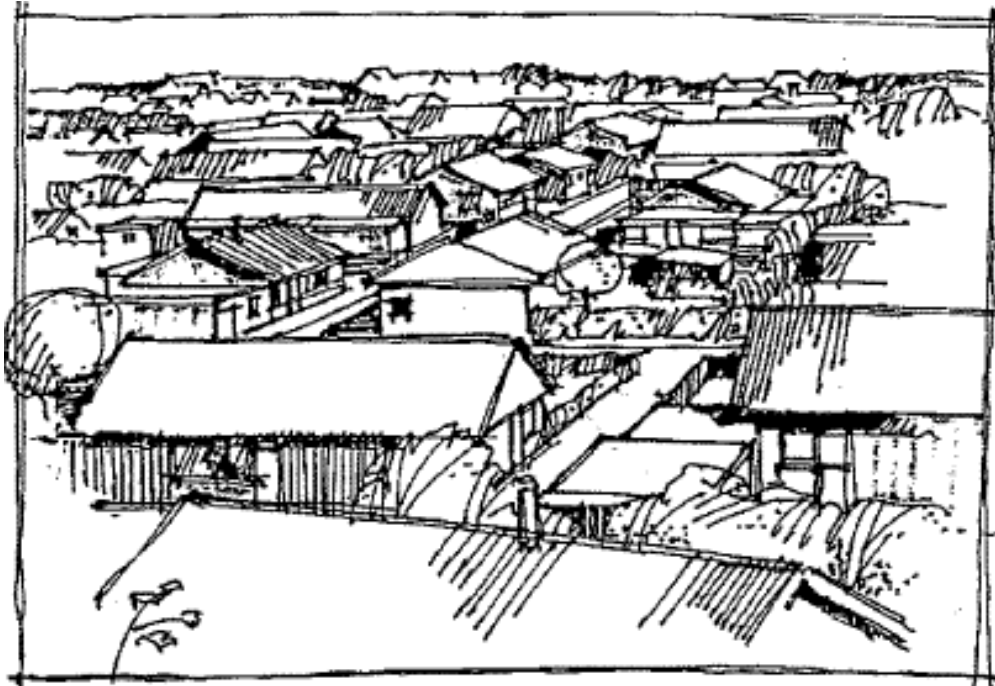
KUVA 7. Maastoluokka 0, Meren tai avoimen meren läheisyydessä oleva rannikkoalue (SFS-EN 1991-1-4 2011, 158).



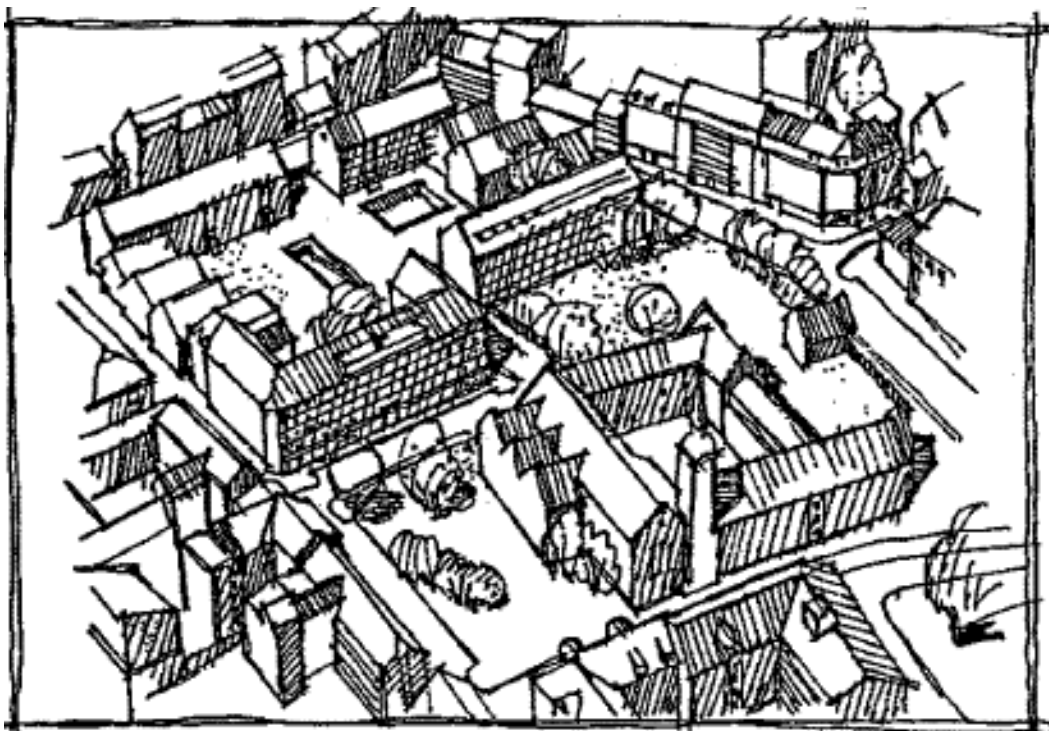
KUVA 8. Maastoluokka I, järvi tai alue, jossa kasvillisuus on vähäistä (SFS-EN 1991-1-4 2011, 158).



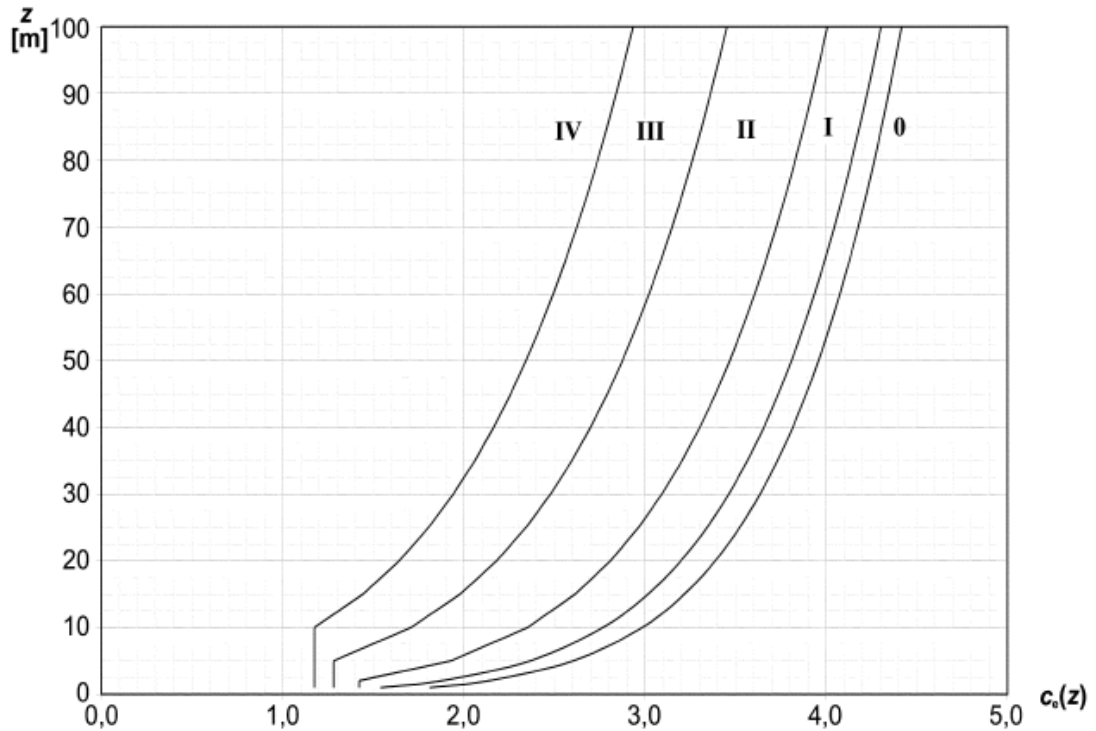
KUVA 9. Maastoluokka II, Alue, jossa kasvillisuus on matalaa, kuten heinä tai ruoho ja alueella sijaitsevat esteet, jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan. (SFS-EN-1991-1-4 2011, 158).



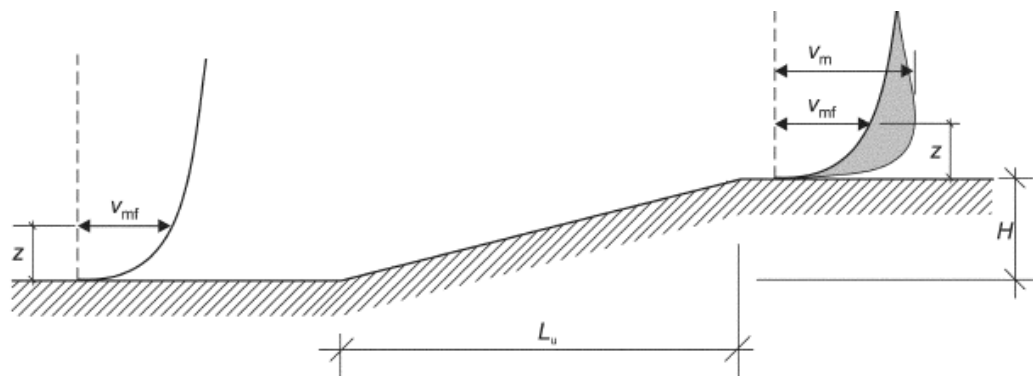
KUVA 10. Maastoluokka III, Alue, jolla kasvipeite on säännöllistä tai alueella sijaitsee rakennuksia tai erilaisia esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan esim. kylät, esikaupunkialueet tai pysyvä metsä (SFS-EN 1991-1-4 2011, 158).



KUVA 11. Maastoluokka IV, Alue, jossa rakennusten peitossa vähintään 15% alasta ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 metriä (SFS-EN 1991-1-4 2011, 158).



KUVA 12. Altistuskertoimen $c_e(z)$ kuvaajia maastoluokittain arvoilla $c_0 = 1,0$, $k_t = 1,0$ (SFS-EN 1991-1-4 2011, 40).



KUVA 13. Pinnanmuodoista riippuva tuulenopeuden kasvun kuvaus (SFS-EN 1991-1-4 2011, 164).

Puuskanopeuspainetta tarvitaan ulko- ja sisäpintoihin vaikuttavan tuulenpaineen mitoittamiseen. Puuskanopeuspaine $q_p(z)$ saadaan kaavan 4. mukaisesti. Puuskanopeuspaineeseen vaikuttava altistuskerroin $c_e(z)$ saadaan kaavasta 5. Nopeuspaineen perusarvo saadaan kaavasta 6. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 40–42.)

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4)$$

jossa

- I_v on tuulenpuuskien intensiteetti
 ρ on ilman tiheys, suositusarvo on 1,25 kg/m³
 v_m on tuulennopeuden modifioitu perusarvo
 $c_e(z)$ on altistuskerroin
 q_b on nopeuspaineen perusarvo

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 40,42).

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (5)$$

jossa

- $c_e(z)$ on altistuskerroin
 q_b on nopeuspaineen perusarvo

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 40).

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (6)$$

jossa

- q_b on nopeuspaineen perusarvo
 ρ on ilman tiheys, joka riippuu maantieteellistä korkeusasemasta, lämpötilasta ja ilmanpaineesta, joka on odotettavissa myrskyjen aikana. Suositusarvo on 1,25 kg/m³
 v_b^2 on tuulennopeuden perusarvo

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 40).

Rakennetta suunnitellessa on otettava huomioon tuulikuormista syntyvät sisä- ja ulkopuoliset paineet (RIL 201-1-2017, 138). Rakenteeseen vaikuttavien sisä- ja ulkopuolisen tuulenpaineen vaikutus etumerkkeineen esitetään kuvassa 14. Ul-

kopintoihin vaikuttava tuulenpaine w_e saadaan alla olevasta kaavasta 7. Sisäpin-
toihin vaikuttava tuulenpaine w_i saadaan kaavasta 8. (SFS-EN 1991-1-4 2011,
42, 44.)

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (7)$$

jossa

w_e on ulkopuolinen tuulenpaine

q_p on puuskanopeuspaine

z_e on ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeus

c_{pe} on ulkopuolisen paineen painekerroin, josta kerrotaan myöhemmin
työn luvussa 2.1.3 Tuulikuormat

(SFS-EN 1991-1-4 2011,42).

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (8)$$

jossa

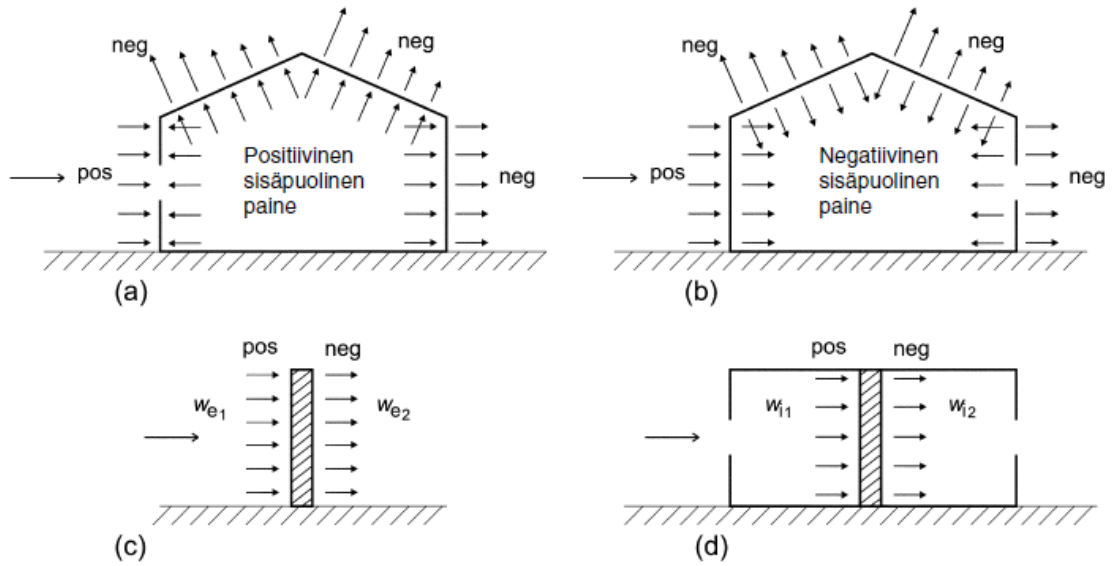
w_i on sisäpuolinen tuulenpaine

q_p on puuskanopeudenpaine

z_i on sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus

c_{pi} on sisäpuolisen paineen painekerroin, josta kerrotaan myöhemmin
työn luvussa 2.1.3 Tuulikuormat

(SFS-EN 1991-1-4 2011,44).



KUVA 14. Rakennuksen tai rakenneosan pintoihin vaikuttavat paineet (SFS-EN 1991-1-4 2011, 44).

Tuulikuormat määritellään rakenteeseen tai rakenneosiin vaikuttavina, joko käyttäen kuormien voimakertoimia tai kuormien pintapaineiden perusteella. Rakenteiden tuulikuorma voidaan määrittellä kaavan 9. avulla. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 44.)

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{rakenneosat}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (9)$$

jossa

F_w on rakenteen tai rakenneosan kokonaistuulikuorma

$c_s c_d$ on rakennekerroin

c_f on rakenteen tai rakenneosan voimakerroin

$q_p(z_e)$ on puuskanopeudenpaine korkeudella z_e

A_{ref} on rakenteen tai rakenneosan tuulenpaineen vaikuttava pinta-ala

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 44,46).

Kokonaistuulikuorma F_w voidaan määrittellä summaamalla rakenteen tai rakenneosien sisäpuolisen tuulikuorman $F_{w,i}$ sekä ulkopuolisen tuulikuorman $F_{w,e}$ ja ulkopintojen suuntaisesta kitkasta F_{fr} tulevat kuormitukset. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 46.) Sisäpuolisen tuulikuorman $F_{w,i}$ määrittäminen on esitetty kaavassa 10.

Ulkopuolisen tuulikuorman $F_{w,e}$ määrittäminen on esitetty kaavassa 11. Tuulen kitkakuorman määrittäminen on esitetty kaavassa 12.

$$F_{w,i} = c_s c_d \cdot \sum_{pinnat} w_i \cdot A_{ref} \quad (10)$$

jossa

$F_{w,i}$ on sisäpuolella vaikuttava tuulikuorma
 $c_s c_d$ on rakennekerroin
 w_i on yksittäiseen pintaan korkeudella z_i vaikuttava sisäpuolinen paine
 A_{ref} on rakenteen tai rakenneosan tuulenpaineen vaikutusala
(SFS-EN 1991-1-4 2011, 46).

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{pinnat} w_e \cdot A_{ref} \quad (11)$$

jossa

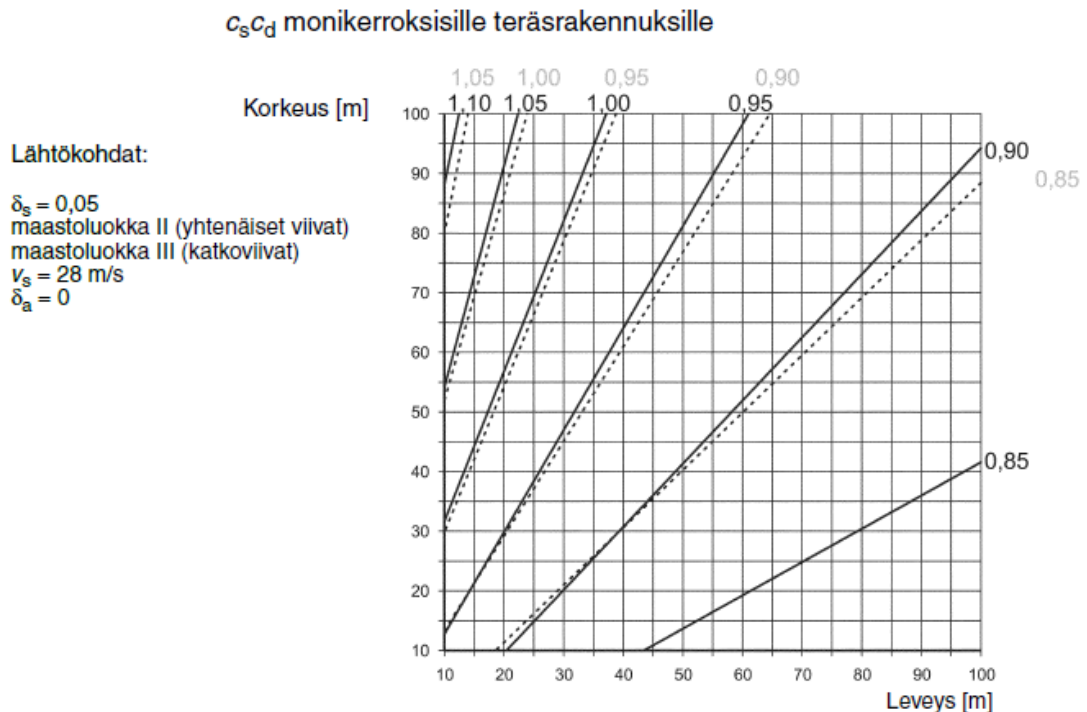
$F_{w,e}$ on ulkopuolella vaikuttava tuulikuorma
 $c_s c_d$ on rakennekerroin
 w_e on yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine
 A_{ref} on rakenteen tai rakenneosan tuulenpaineen vaikutusala
(SFS-EN 1991-1-4 2011, 46).

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (12)$$

jossa

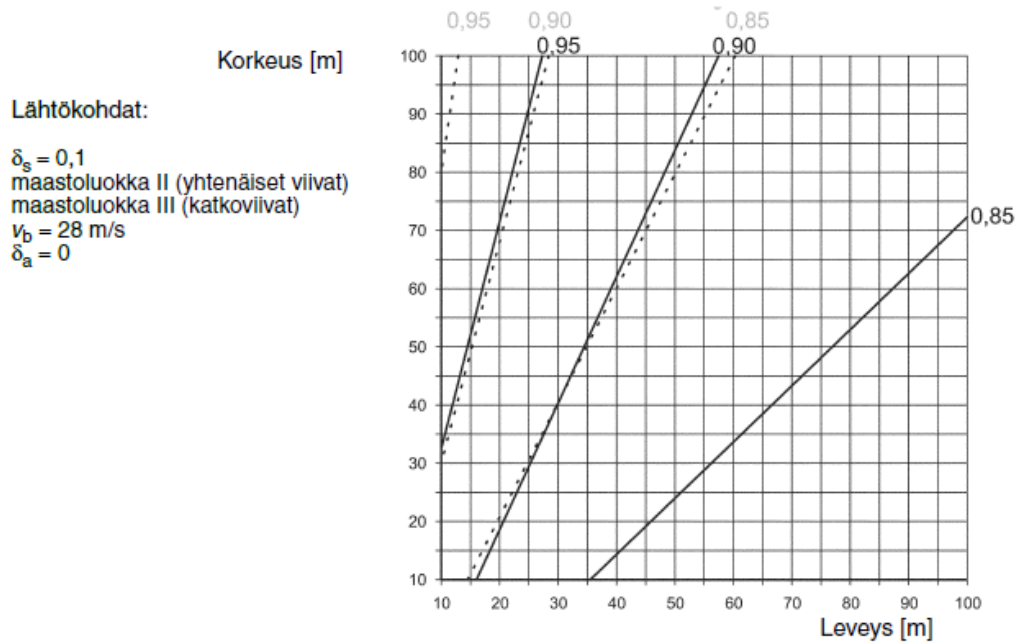
F_{fr} on tuulen kitkakuorma
 c_{fr} on kitkakerroin
 $q_p(z_e)$ on puuskanopeuspaine nopeuspaine korkeudella z_e
 A_{fr} on kitkakuorman vaikutusala
(SFS-EN 1991-1-4 2011, 46).

Rakennekerroin ($c_s c_d$) ottaa huomioon tuulikuormiin syntyvät vaikutukset. Rakennekerroin koostuu tuulenpaineen huippuarvojen eriaikaisuudesta pinnalla (c_s) sekä rakenteen värähtelyä aiheuttavasta turbulenssista (c_d). Alle 15 m korkeille rakennuksille voidaan käyttää rakenteiden rakennekertoimen arvoa 1,0. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 48.) Suorakaiteen muotoisille monikerroksisille rakennuksille rakennekertoimen $c_s c_d$ arvo saadaan kuvista 15. ja 16. Jos hetkittäiset tuulenvaihtelut aiheuttavat epäsymmetrisen kuormitustilanteen kuvan 17. esitetyllä tavalla ja jos rakenne on muodoltaan todennäköisesti herkkä tämäntyyppiselle kuormitukselle, tulee väännön vaikutus ottaa huomioon (SFS-EN 1991-1-4 2011,54).

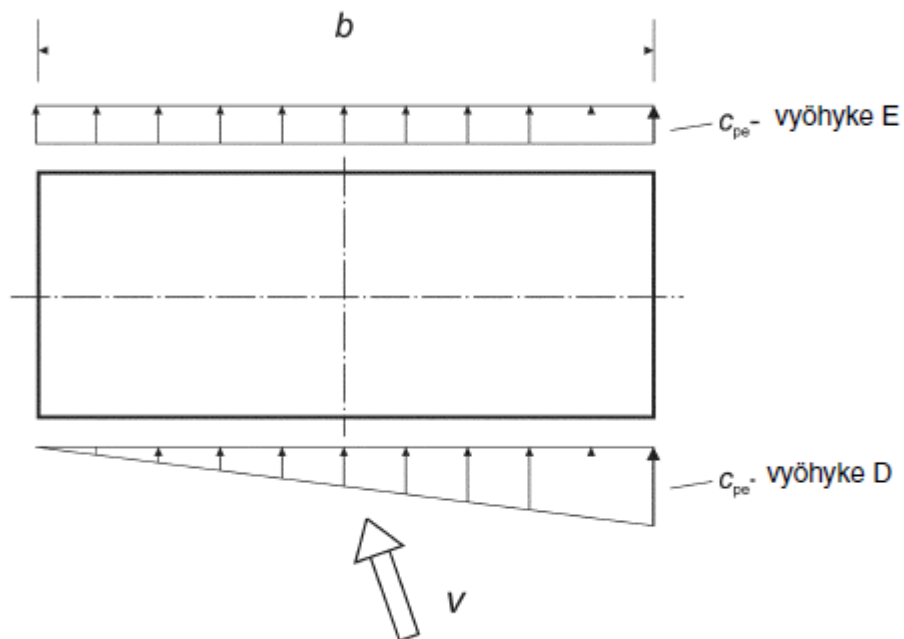


KUVA 15. Rakennekerroin monikerroksiselle teräsrakennukselle, pohjan ollessa suorakaide, seinien ollessa pystysuorat, sekä jäykkyyden ja massan ollessa ja kaantuneet säännöllisesti (SFS-EN 1991-1-4 2011, 190).

$c_s c_d$ monikerroksisille betonirakennuksille



KUVA 16. Rakennekerroin monikerroksiselle betonirakennukselle, pohjan ollessa suorakaide, seinien ollessa pystysuorat, sekä jäykkyyden ja massan ollessa jakaantuneet säännöllisesti (SFS-EN 1991-1-4 2011, 192).



KUVA 17. Paineen jakautumalla otetaan huomioon rakenteeseen kohdistuvan väännön vaikutus. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 54).

Rakennuksia ja sen osia koskevat ulkopuolisen paineen kertoimet c_{pe} riippuvat rakenteen pinta-alasta A , joka tuottaa laskettavassa poikkileikkauksessa vaikuttavan tuulikuorman. Ulkopuolisen paineen kertoimet ovat taulukoitu rakenteen pinta-alan arvoille 1 m^2 ja 10 m^2 . Mikäli rakenteen pinta-ala on $1\text{-}10 \text{ m}^2$ tulee ulkopuolisen painekertoimen arvo ratkaista kaavasta 13. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 56).

$$c_{pe} = c_{pe,1}(c_{pe,1} - c_{pe,10})\log_{10}A \quad (13)$$

jossa

$c_{pe,1}$ on 1 m^2 kuormituspinta-alaa vastaava ulkopuolisen paineen kerroin
 $c_{pe,10}$ on 10 m^2 kuormituspinta-alaa vastaava ulkopuolisen paineen kerroin.

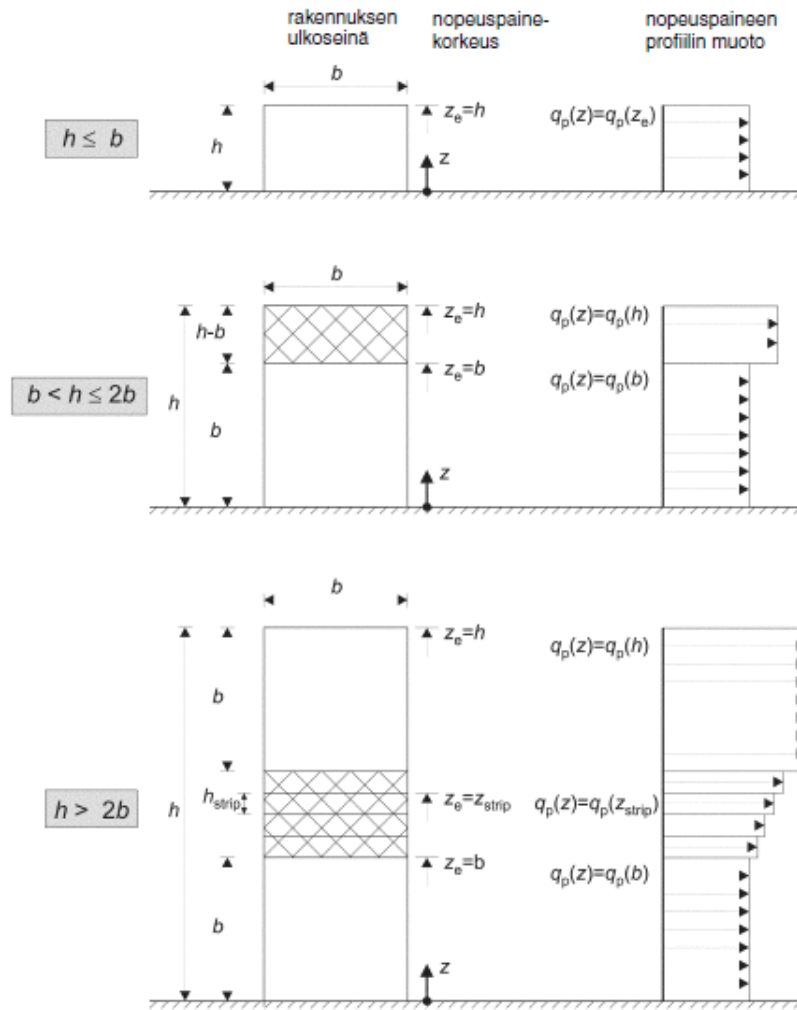
(SFS-EN 1991-1-4 2011, 56).

Suorakaiteen muotoisen rakennuksen tuulenpuoleisten seinien kaistojen nopeuspainekorkeudet z_e ovat riippuvaisia mittasuhteesta h/b ja ne esittävät aina seinän kunkin tuulikuormakaistan yläreunan korkeusasemaa. Eurokoodissa jako esitetään kuvan 18. mukaisesti kolmessa tapauksessa seuraavasti:

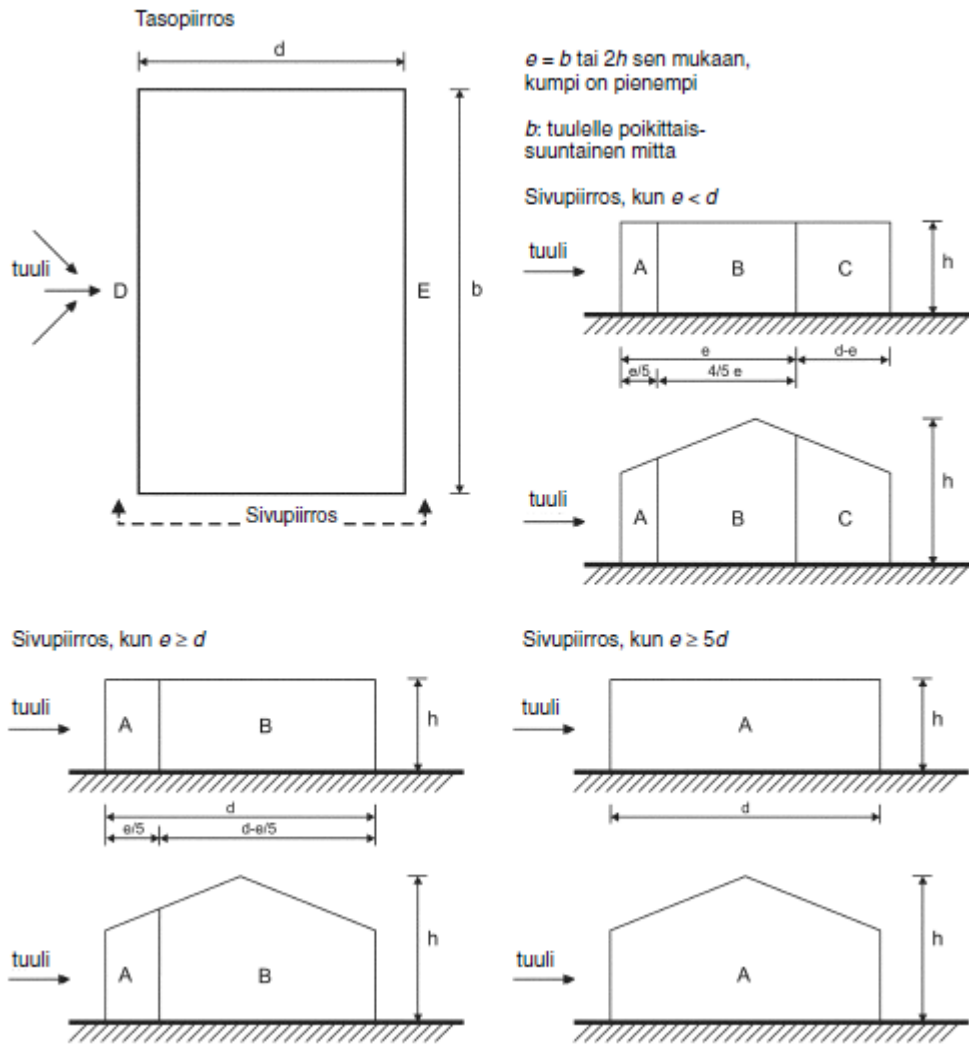
- rakennus, jonka $h < b$, tarkastellaan yhtenä kaistana
- rakennus, jonka $b < h < 2b$, voidaan tarkastella kahtena kaistana
- rakennus, jonka $h > 2b$, voidaan tarkastella useina kaistoina.

(SFS-EN 1991-1-4 2011, 58).

Rakennuksen seiniä koskevien vyöhykkeiden jakaminen tapahtuu kuvan 19. mukaisella tavalla. Taulukosta 4. selviää näiden pystyseiniä vyöhykkeiden ulkoiset tuulenpainekertoimet.



KUVA 18. Nopeuspainekorkeuden z_e riippuvaisuus rakennuksen korkeudesta h ja tuulen suuntaa vastaan kohtisuorasta mitasta b (SFS-EN 1991-1-4 2011, 60).

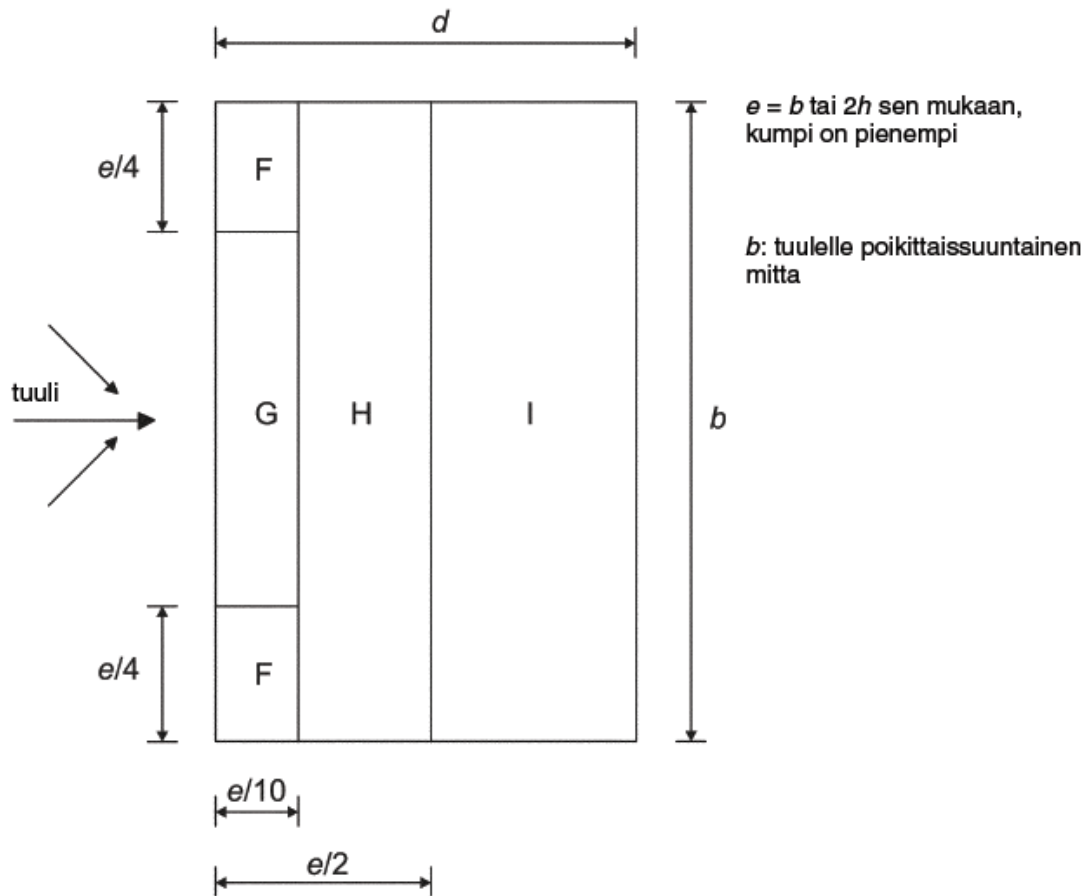


KUVA 19. Rakennuksen seinien jakautumien vyöhykkeisiin (SFS-EN 1991-1-4 2011, 62).

TAULUKKO 4. Pohjaltaan suorakaiteen muotoisen rakennuksen pystyseiniä ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot eri vyöhykkeillä (SFS-EN 1991-1-4 2011, 62).

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
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	

Tasakattoisen rakennuksen (katon kaltevuus on $(-5^\circ < \alpha < 5^\circ)$) jakaminen vyöhykkeisiin tapahtuu kuvan 20. mukaisesti. Vyöhykkeiden perusteella määritellään katon ulkopuoliset tuulenpaineet. Taulukossa 5. on esitetty tasakattoisen rakennuksen vyöhykkeiden ulkopuolisen paineen kertoimet. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 64,66,68).



KUVA 20. Tasakattoisen rakennuksen katon jakaminen vyöhykkeisiin (SFS-EN 1991-1-4 2011, 66).

TAULUKKO 5. Tasakattoisen katon ulkoisen paineen painekertoimen c_{pe} suositukset eri vyöhykkeille (SFS-EN 1991-1-4 2011, 68)

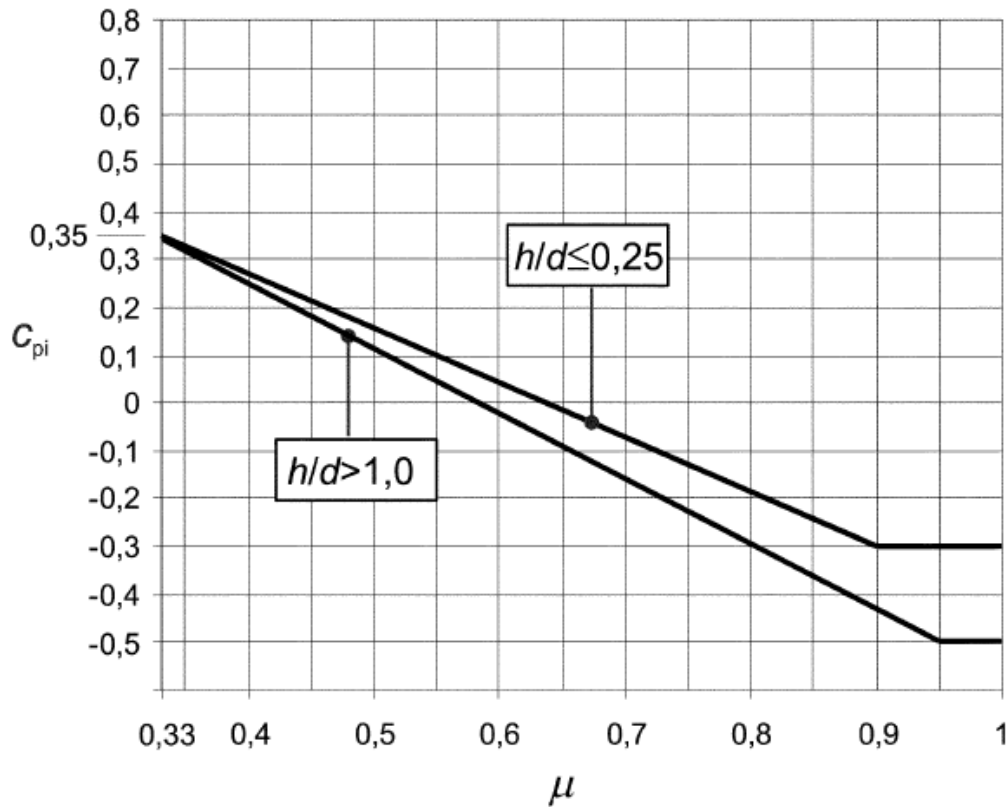
Kattotyyppi		Vyöhyke							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Teräväreunaiset räystäät		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Kaitteilla varustetut räystäät	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-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
Pyöristetyt räystäät	$r/h = 0,05$	-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
Taitteiset räystäät	$\alpha = 30^\circ$	-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

Sisä- ja ulkopuolista painetta tulee pitää vaikuttavana samanaikaisesti (SFS-EN 1991-1-4 2011, 86). Sisäpuolisen paineen kerroin c_{pi} vaihtelee rakennuksen vaiipan aukon koon ja jakautumisen funktiona. Määrävällä sivulla tarkoitetaan seinää tai kattoa, kun kyseisellä sivulla on vähintään kaksinkertainen aukkojen pinta-ala rakennuksen muiden sivujen aukkojen ja ilmapuotojen alaan verrattuna. Jos rakennuksessa on määrävä sivu, mutta aukkosuhde jää alle kolminkertaiseksi, lasketaan c_{pi} kaavalla 14. Aukkosuhteen ollessa yli kolminkertainen määrävällä sivulla, lasketaan c_{pi} kaavalla 15. Rakennuksella, jolla ei ole määrävää sivua, voidaan määrittää sisäinen paine ns. aukkosuhteen funktiona eli kaavalla 16. Kuvasta 21. saadaan sisäpuolisen paineen kerroin, joka on riippuvainen rakennuksen aukkosuhteesta sekä korkeudesta ja tuulensuuntaisesta mitasta. (RIL 201-1 2017, 161–162.)

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (14)$$

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (15)$$

$$\mu = \frac{\Sigma \text{niiden aukkojen pinta - ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0,0}{\Sigma \text{ kaikkien aukkojen pinta - ala}} \quad (16)$$



KUVA 21. Sisäpuolisen paineen kerroin rakennuksen korkeuden ja tuulensuuntaisen mitan sekä aukkosuhteen funktiona (SFS-EN 1991-1-4 2011, 88).

2.1.4 Hyötykuorma

Hyötykuormien katsotaan olevan muuttuvia ja liikkuvia kuormia (SFS-EN 1991-1-1 2002, 18). Eli hyötykuorman aiheuttama kuormitus rakenteelle voi vaihdella. Vesikaton kuormituksia tutkiessa hyötykuormia ei tarvitse ottaa huomioon, jos vesikattoon vaikuttava tuuli- ja/tai lumikuorma on hyötykuormia määräävämpi. Eli kuormia tarkasteltaessa huomioidaan suurin kuormitusta tuottava kuormitusyhdistelmä. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 20.)

Hyötykuormat ovat rakennuksen käytöstä johtuvia, kuten henkilökäytön, huonekalujen, siirrettävien kohteiden, ajoneuvojen, kokoontumisten ja kevyiden väliseinien aiheuttamia kuormituksia. Hyötykuormat mallinnetaan jakautuneina kuormina, viivakuormina, pistekuormina tai niiden yhdistelminä. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 28.) Rakennuksen tilat tulee jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaisiin luokkiin A-D taulukossa 6. esitetyllä tavalla. Rakennuksien hyötykuormien mitoitusarvot riippuvat rakennuksen käyttöluokkien mukaisista tiloista ja ne tulee mitoittaa käyttämällä taulukon 7. mukaisia ominaiskuormia (SFS-EN 1991-1-1 2002, 30.) Muuttuvan kuorman ominaisarvona Q_k laskennassa voidaan käyttää sen ylä- ja ala-arvoa, jota ei saavuteta määritetyn ajanjakson aikana tai nimellisarvoa, kun tilastollinen jakauma on tuntematon (RIL 201-1 2017, 31–32.)

TAULUKKO 6. Rakenteiden käyttöluokat käyttötarkoituksittain (SFS-EN 1991-1-1 2002, 30).

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkeilymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) ¹⁾	<p>C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p>C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p>C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p>C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p>C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapatumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Myyvälätilat	<p>D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p>D2: Tavaratalojen tilat.</p>
<p>¹⁾ On syytä kiinnittää huomiota kohtaan 6.3.1.1(2), erityisesti luokkien C4 ja C5 osalta. Standardissa EN 1990 esitetään, milloin dynaamiset vaikutukset on tarpeen ottaa huomioon. Luokkaa E koskevat tiedot ovat taulukossa 6.3.</p> <p>HUOM. 1 Aiotusta käyttötarkoituksesta riippuen tilat, jotka todennäköisesti sijoitettaisiin luokkaan C2, C3 tai C4, voidaan tilaajan päätöksellä tai kansallisen liitteen perusteella sijoittaa luokkaan C5.</p> <p>HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä luokat A, B, C1...C5, D1 ja D2 voidaan jakaa alaluokkiin.</p> <p>HUOM. 3 Varasto- ja teollisuustiloja tarkastellaan kohdassa 6.3.2.</p>		

TAULUKKO 7. Rakennusten hyötykuormat määritelty käyttöluokittain. Kuormien suositusarvot on esitetty taulukossa alleviivattuna. Vaihteluvälin omaaville kuormille voidaan antaa kiinteä arvo kansallisessa liitteessä. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 30).

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka A		
— Välipohjat	1,5... <u>2,0</u>	<u>2,0</u> ...3,0
— Portaat	<u>2,0</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...4,0
— Parvekkeet	<u>2,5</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...3,0
Luokka B	2,0... <u>3,0</u>	1,5... <u>4,5</u>
Luokka C		
— C1	2,0... <u>3,0</u>	3,0... <u>4,0</u>
— C2	3,0... <u>4,0</u>	2,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— C3	3,0... <u>5,0</u>	<u>4,0</u> ...7,0
— C4	4,5... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> ...7,5	3,5... <u>4,5</u>
Luokka D		
— D1	<u>4,0</u> ...5,0	3,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— D2	4,0... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>

Saman luokan rakenneosan hyötykuormia on mahdollista pienentää tämän rakenneosan kuormitusalojen perusteella käyttämällä pienennyskerrointa α_A . Pienennyskerroin α_A koskee vain välipohjaa, yläpohjaa ja palkkeja. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 28.) Hyötykuormien mahdollinen pienentäminen tapahtuu kaavan 17. mukaisesti. Jos pilareille tai seinille tulevaa hyötykuormaa muodostuu useasta kerroksesta, voidaan hyötykuormia pienentää pienennyskerroimella α_n kaavan 18. mukaisesti. Vähennettävien kuormien tulee kuitenkin kuulua samaan luokkaan. Kuormien pienennyskerroimien suositusarvoja on esitetty taulukossa 8. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 32.)

TAULUKKO 8. Rakennusten eri luokkien pienennyskertoimien ψ suositusarvoja (SFS-EN 1990 2006, 86.)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ^{*)}			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä. ^{*)} Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \quad (17)$$

jossa

ψ_0 on taulukosta 8. saatu kerroin

A_0 on 10,0 m²

A on kuormitettu ala

(SFS-EN 1991-1-1 2002, 32).

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2) \cdot \psi_0}{n} \quad (18)$$

jossa

ψ_0 on taulukosta 8. saatu kuormien pienennyskerroin

n kuormitettujen kantavien osien yläpuolella olevien samaan kuuluvien kerrosten lukumäärä (kuitenkin vähintään 2)

(SFS-EN 1991-1-1 2002, 32).

2.2 Osavarmuuslukumenetelmä ja kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmät jaetaan käyttörajatilaan ja murtorajatilaan. Tila, joka vaikuttaa rakenteen tai rakenneosan normaaliin käyttöön, ihmisten mukavuuteen tai

ulkonäköön luokitellaan käyttörajatilaksi. Tilat, jotka vaikuttavat ihmisten turvallisuuteen ja rakenteiden varmuuteen sekä joissain tapauksissa aineen tai tavaran suojaamiseen luokitellaan murtorajatiloiksi. Esimerkkejä murtorajatiloista ovat tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen. (RIL 201-1-2017, 29–30.)

Osavarmuuslukumenetelmässä on tarkoituksena todentaa, että laskennan mitoitustilannetta ei ylitetä, kun laskennassa käytetään mitoitustilanteen kuormituksen ja kestävyysmitoitussarvoja. Mitoitusarvot koostuvat ominaisarvojen tai kuormia edustavien arvojen ja niiden osavarmuuslukujen tulojen summasta kuten kaavassa 23. esitetään. Laskennalla on osoitettava, että rakenne kestää kuormitusten aiheuttamat rasitukset. (SFS-EN 1990 2006, 70.) Murtorajatilassa käytettävä kuormakerroin K_{FI} määräytyy seuraamusluokkien CC1 – CC3 mukaisesti. Seuraamusluokkien määrittely tapahtuu ihmishenkien, taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen perusteella. Seuraamusluokkaan CC3 kuuluu huomattavan suuret vahingot, näin ollen kuormakertoimen K_{FI} arvona käytetään 1,1. Rakennukset, joiden vahinkojen seuraamukset ovat pienet, kuuluvat seuraamusluokkaan CC1, esimerkiksi 2-kerroksinen rakennus, jossa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä. Kuormakertoimen K_{FI} arvona käytetään seuraamusluokassa CC1 arvoa 0,9. Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1, kuuluvat luokkaan CC2, jonka kuormakertoimen K_{FI} arvona käytetään 1,0. (RIL 201-1-2017, 26).

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \quad (23)$$

jossa

$$F_{rep} = \psi F_k$$

F_k on kuorman ominaisarvo

F_{rep} on kuormaa edustava arvo

γ_f on kuorman osavarmuusluku

ψ on joko 1,0 tai ψ_0, ψ_1, ψ_2

(SFS-EN 1990 2006, 70)

2.2.1 Käyttörajatila

Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät on valittava siten, että käyttökelpoisuudelta ja toimintakriteereiltä ne ovat tarkoituksenmukaiset (RIL 201-1-2017, 44). Palautumattomassa rajatilassa käytetään kaavaa 24. Kaava soveltuu esimerkiksi perustuksen halkeilun tarkistamiseen.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (24)$$

jossa

$G_{k,j}$ on pysyvät kuormat

P on esijännitysvoimat

$Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$ on samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelyarvo

(RIL 201-1-2017, 44)

2.2.2 Murtorajatila

Murtorajatilassa tarkasteltavia kuormitusyhdistelmiä ovat esimerkiksi EQU, STR, GEO, sekä onnettomuuskuormitusyhdistelmät. EQU kuormitusyhdistelmässä tarkastellaan jäykän rakennuksen tai rakenteen staattista tasapainoa. EQU kuormitusyhdistelmällä tarkastellaan esim. perustuksen staattisen tasapainon toteutumista. Tarkastelu tapahtuu kaavalla 25. STR kuormitusyhdistelmässä tarkastellaan rakennuksen tai rakenteen kestävyyttä sekä geoteknistä kantavuutta. STR kuormitusyhdistelmässä tarkastellaan vaurioitumista tai liiallista siirtymätilaa. Tarkastelut tapahtuvat kaavoilla 26. ja 27. GEO kuormitusyhdistelmässä kantavuuden tarkastelu tapahtuu kaavan 28. mukaisesti. (RIL 201-1-2017, 37–40.) GEO kuormituksella vertaillaan esimerkiksi maapohjan murtumista tai liiallista muodonmuutosta. GEO kuormitusyhdistelmä on usein kriittinen perustusten rakenteellisten mittojen määrittämisessä ja mahdollisesti rakenteellisten osien lujuudessa. (RIL 207-2009, 46.)

$$\left. \begin{matrix} 1,1K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (25)$$

jossa

- $1,1K_{FI}$ on tasapainoa heikentävä epäedullisten kuormien G_k kerroin
 $0,9$ on tasapainoa parantavien edullisten kuormien G_k kerroin
 P on esijännitysvoimat, joka kerrotaan osavarmuuskertoimella γ_P
 $Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma
 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ on samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelyarvo
 (EQU) (RIL 201-1-2017, 40).

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (26)$$

Kuitenkin vähintään

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (27)$$

jossa

- $1,15K_{FI}$ on epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvien kuormien G_k kerroin
 $0,9$ on edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvien kuormien G_k kerroin
 (STR) (RIL 201-1-2017, 40–41).

$$\left. \begin{matrix} 1,0K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,3K_{FI} Q_{k,1} + 1,3K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (28)$$

jossa

- $1,0K_{FI}$ on epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvien kuormien G_k kerroin
 $0,9$ on edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvien kuormien G_k kerroin
 P on esijännitysvoima, joka kerrotaan osavarmuuskertoimella γ_P
 $Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma
 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ on samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelyarvo
 (GEO) (RIL 201-1-2017, 40–41).

3 AKUSTIKOIDEN TARVITSEMAT LÄHTÖTIEDOT

Tärinäeristimet sijaitsevat rakennuksen perustuksessa. Yleensä tärinäeristimet sijoitetaan perustuksen ja vasta-anturan väliin. Opinnäytetyö ei ota kantaa tärinäeristeiden sijoittamiseen perustuksen ja seinän tai pilarin väliin. Tärinäeristykseen tavoitteena on vaimentaa tärinästä johtuvaa runkomelua. Runkomelu saattaa syntyä maaperään esimerkiksi ohikiitävästä junasta. Tärinä johtuu maapohjassa ja siihen vaikuttavat esimerkiksi maa-aines ja tärinän lähteen etäisyys. Rakennus ei saa olla yhteydessä toiseen rakennukseen, jossa ei ole toteutettu tärinäeristeiden mitoitusta, esimerkiksi rakennuksen liitos runkomelueristämättömään autohalliin jäykästi (Laitinen Tuomas 2021). Opinnäytetyö ei perehdy runkomeluun ilmiönä eikä sen tarkasteluun.

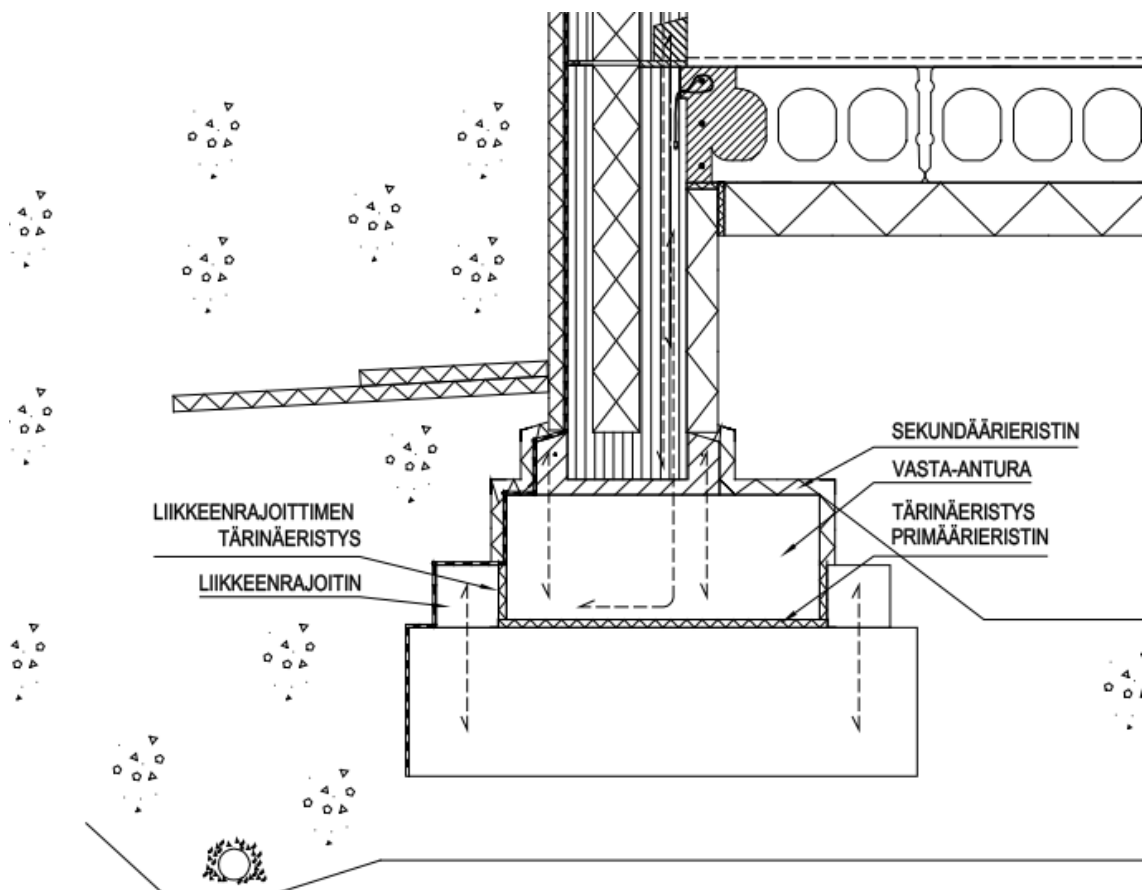
3.1 Piirustukset

Akustiikkasuunnittelijat tarvitsevat kohteesta riittävät lähtötiedot suunnitellessaan kohteeseen tärinäeristystä. Lähtötiedoista pitää ilmetä perustusten sekä vasta-anturoiden koko, sijainti ja kuormitus. Akustiikkasuunnittelijoille toimitettavia lähtötietoja ovat perustukset numeroituna kuormitusten kanssa Excel-tiedostona, alapohjan tasokuva, josta käy ilmi vasta-anturat, rakenneleikkaus sekä IFC-malli kohteesta. Rakennuksen tärinäeristeitä suunnitellessa on tarpeen tietää myös tärinäeristeiden mitat eikä pelkästään kuormituksen pinta-ala. Tärinäeristeiden mitoituksessa otetaan huomioon muotokerroin, joka huomioi, millaiset ovat eristettävän alan sivumitat.

Akustiikkasuunnittelijoille toimitettava tasokuva on erittäin tärkeä, sillä siinä on osoitettu tärinäeristystä tarvitsevien anturoiden mitat, kuormitukset sekä ennen kaikkea kuormitusyhdistelmässä käytetyt kertoimet. Akustiikkasuunnittelijoille toimitetaan kohteesta rakenneleikkaukset, joista selviää esimerkiksi tärinäeristeiden toteutustapa sekä mahdolliset tarvittavat pystyeristimet ja liikkeenrajoittimet. Rakennuksesta toimitettu malli helpottaa akustiikkasuunnittelijan työtä löytää mahdolliset kriittiset vaaranpaikat rakennuksesta. Mallista löytää helpommin esi-

merkiksi autotallin tai tukimuurien sijainnin. Mallista varmennetaan, että suunniteltu rakenne toimii akustiikkasuunnittelijan suunnitteleamalla tavalla ja rakennus ei ole kytketty värinäeristämättömiin rakenteisiin.

Opinnäytetyö perehtyy olemassa olevaan työkalun käyttöön. Työkalun lähtötiedot otetaan Tekla Structures- ohjelmistosta. Grasshopper:in avulla tuotetaan tarvittava eristimien plaanikuva sekä vaadittavat tiedot Excel -muodossa akustiikkasuunnittelulle. Työkalu ei tuota vaadittavia leikkauskuvia. Akustiikkasuunnittelusta saatavat tiedot on taas helppo tuoda Tekla Structures- ohjelmistoon käyttäen Grasshopper:iin luotua työkalua sekä akustiikkasuunnittelulta saadun täydennetyt Excel- tiedoston ansiosta. Kuvassa 22 esitetään periaatekuva värinäeristetyistä betonirakenteisesta rakennuksesta. Värinäeristys on aina suunniteltava tapauskohtaisesti.



KUVA 22. Periaatekuva värinäeristetyn rakennuksen perustuksesta.

3.2 Laskenta

Tärinäeristimet luokitellaan kuormituskyvyn mukaan ja yksikkönä käytetään N/mm². Tästä syystä akustiikkasuunnittelijoille toimitettavat kuormitukset on käytännöllisempi toimittaa samoissa mittayksiköissä. Tärinäeristimien mitoituksessa käytetty kuormitus on käyttötilanteessa vallitseva kuormitus. Tärinäeristimien toimivuuden laskennassa käytetään käyttörajatilan aiheuttamaa kuormaa, joka ei sisällä varmuuskertoimia. Rakenteita suunnitellessa on hyvä myös tarkistaa, että eristimet kestävät murtorajatilassa mitoitettun maksimipuristuksen sille annetussa suunnitteluiässä. Maksimipuristus voi tulla määrääväksi etenkin puu- ja teräsrunkoisissa rakenteissa. Betonirakenteisessa asuinrakennuksessa todennäköinen käyttötilanteessa vallitseva kuormitus saadaan kertomalla pysyvä osuus kertoimella 1,0 ja hyötykuorma kertoimella 0,3 kaavan 31. esittämällä tavalla. Kevyissä rakennuksissa on otettava huomioon muuttuvan kuorman suurempi prosentuaalinen osuus kokonaiskuormissa. Kevyiden runkomateriaalien tärinäeristeitä mitoittaessa on selkeämpi esittää erillisinä arvoina pysyvä ja muuttuva kuorma. Esi-tetyistä arvoista pitää ilmetä käytetyt kuormitusyhdistelmän kertoimet. Tärinäeristeiden mitoitukseseen ei tällä hetkellä ole standardia tai suoraa ohjeistusta todennäköisen käyttötilan kuormituksen laskentaan, vaan kertoimet perustuvat vakiintuneeseen tapaan (Huhtala 2021). Vakiintunutta tapaa tukee myös Samuel Talkan opinnäytetyö ”perustusten tärinävaimennus”. Samuel Talkan opinnäytetyössä käydään läpi 2 kohdetta. Kohteissa muuttuvan kuorman pienennyskertoimina on käytetty 0,3 sekä 0,25. Tärinäeristeiden kuormitusta laskiessa kuormitus tulee aina laskea tapauskohtaisesti.

$$e_l = 1,0 \cdot \sum G_k + 0,3 \cdot \sum Q_k \quad (31)$$

jossa

e_l on tärinäeristimien kuormitus

$\sum G_k$ on tärinäeristimille tuleva pysyvän kuorman summa

$\sum Q_k$ on tärinäeristimille tuleva muuttuvan kuorman summa

(Huhtala 2021; Talka 2019)

Tärinäeristeiden kestävyys voi tarkistaa Getzner'in suunnitteluohjeesta. Suunnitteluohje käsittelee Sylomer- ja Sylodyn- eristeitä. Suunnitteluohjeella on saksalaisten rakennusviranomaisten yleinen hyväksyntä abZ (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung). AbZ:n hyväksyntä haetaan, kun saksalaisessa DIN standardissa ei ole normia aiheesta tai niitä ei täytetä. AbZ on eräänlainen esiate DIN:lle. AbZ:ta voi hakea valmistaja, mutta jos abZ:n haluaa muuttaa DIN-normiksi, on kyseessä julkinen materiaali ja näin ollen tiedosto tulee yleiseen jakoon.

Liikkeenrajoittimien eristimien laskennassa kuormitusyhdistelmänä käytetään niin ikään eristimiä vastaan todennäköisessä käyttötilanteessa suurimman rasituksen tuottavaa kuormitusyhdistelmää. Suurimman kuormituksen eristeille voi tuottaa esimerkiksi tuulesta ja maanpaineesta johtuvat vaakavoimat. Liikkeenrajoittimien eristeiden mitoitus tapahtuu kaavalla 32. Eristimien kestävyys tulee tarkistaa aina. Kestävyys tarkistetaan samanlaisesti kuin primäärieristeiden kestävyys tarkistus yleisesti eli esimerkiksi materiaalitoimittajan suunnitteluohjetta hyödyntäen.

$$e_i = 1,0 \cdot \sum G_k + 0,3 \cdot \sum Q_k \quad (32)$$

jossa

e_i	on liikkeenrajoittimien eristeiden kuormitus
$\sum G_k$	on liikkeenrajoittimille tulevien vaakavoimien pysyvän kuorman summa
$\sum Q_k$	on liikkeenrajoittimille tulevien vaakavoimien muuttuvan kuorman summa

Liikkeenrajoittimien kestävyys vaikuttaa rakenneosan toimintaan, täten mitoittaminen tapahtuu murtorajatilassa. Kestävyyttä tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon vain kuormitusta saavat liikerajoittimet. Kestävyyttä voi lisätä esimerkiksi kuvan 22. mukaisilla tapituksilla. Kuormien mitoitus tapahtuu kaavojen 26. ja 27. avulla.

4 POHDINTA

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia perustuskuormitusta ilmiönä. Opinnäytetyön ohella tuotettiin Porin A-Insinöörien yksikölle yhteinen ohjeistus akustiikkasuunnittelijoiden tarvitsemien lähtötietojen määrittämiseen ja toimittamiseen. Ohjeistuksessa käsiteltiin myös jo olemassa olevan työkalun käyttöä. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä A-Insinöörit rakennesuunnittelun sekä A-Insinöörit akustiikkasuunnittelun kanssa. Opinnäytetyötä varten haastateltiin tärinäeristintoimittajaa.

Opinnäytetyössä asetetut tavoitteet ovat täyttyneet. Opinnäytetyön perusteella tehty ohjeistus yhtenäistää lähtötietojen tuottamisen. Opinnäytetyöhön on koottu oleelliset asiat perustuskuormista. Kuitenkin aihe on laaja ja asiaa paljon, joten työssä ei välttämättä ole riittävän laaja-alaisesti tutkittu ilmiötä. Opinnäytetyön ajallisten rajausten vuoksi ei perehdytä kuormien jakautumiseen liitoksissa.

Tärinäeristimien mitoittamista vaikeutti luotettavan tiedon saanti. Tärinäeristeiden todellisen käyttötilan kuormituksen laskennasta puuttuu standardi. Tämänhetkiset laskentatavat nojautuvat vahvasti DIN EN 1337-3 sekä Getzner:ille myönnettyyn Saksan kansallisen teknisen hyväksynnän saaneeseen valmistajan suunnitteluohjeeseen. DIN EN 1337-3 ja Getznerin suunnitteluohje käsittelee kestävyysmitoitusta. Käyttötilanteen kuormituksen mitoittamisessa käytössä on vain akustiikka-alalla vakiintunut käytäntö.

Opinnäytetyön pohjalta tehty ohjeistus täytti sille asetetut tavoitteet. Ohjeistuksen perusteella on helppo lähteä tuottamaan tarvittavat lähtötiedot akustiikkasuunnittelijoille. Ohjeistuksesta käy ilmi, millaisia tietoja akustiikkasuunnittelijat tarvitsevat sekä miten saadaan tuotettua todenmukaiset kuormitukset. Ohjeistuksen perusteella rakennesuunnittelija onnistuu tuottamaan vaadittavat lähtötiedot Autocad-, Tekla Structures- ja Grasshopper- ohjelmistoilla, vaikka ohjelmistot eivät olisi käyttäjälle kovin tuttuja.

LÄHTEET

A-Insinöörit verkkosivusto. nd. A-Insinöörien tarina. Luettu 11.3.2021.
<https://www.ains.fi/yritys/tarina>

Elementtisuunnittelu. nd. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan OSA 6: perustukset. Elementtisuunnittelu.fi

Huhtala T, Suunnittelujohtaja, puhelinkeskustelu 7.5.2021, A-Insinöörit Oy

Laitinen T, Tuotepäällikkö, puhelinkeskustelu 7.5.2021, Christian Berner Oy

Leskelä, Matti V. by210. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008. Suomen Betoniyhdistys r.y.

Maankäyttö ja rakennuslaki 5.2.1999/132

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 207-2009. 2009. Geotekninen suunnittelu. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 28.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1. 2015. Rakenteiden kuormat osa 1-3: yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 15.04.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. 2011. Rakenteiden kuormat osa 1-4: yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 15.04.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. 2015. Betonirakenteiden suunnittelu. osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 15.04.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Talka Samuel, 2019, Perustusten värinävaimennus, Rakennustekniikka, Kaakkois-suomen ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö

Ympäristöministeriö. 2016. 6/16. ympäristöministeriön asetus lumikuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-3. Helsinki. Luettu 15.4.2020. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42811>

Ympäristöministeriö. 2016. 3/16. Ympäristöministeriön asetus rakenteiden ja suunnitteluperusteita koskevia kansallisista valinnoista sovellettaessa standardeja SFS-EN 1990. Helsinki. Luettu 28.4.2021 <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42808>