

# RAKENTEIDEN TUULIKUORMISTA JA NIIDEN VAIKUTUKSISTA

Rakenteiden Mekaniikka Vol. 5  
No. 2 1972 ss. 106-123; Ra-  
kenteiden Mekaniikan Seura,  
Helsinki

ERKKI PENNALA

---

## 1. JOHDANTO

Rakenteisiin kohdistuvien tuulikuormien mahdollisimman totuudenmukainen arviointi on rakenteiden taloudellisuuden ja varmuuden kannalta oleellisessa asemassa. Erityisesti tämä pätee rakenteisiin, joiden on tuulikuormien lisäksi kannettava hyvin suuri omapaino, esim. korkeat rakennukset, tornit, mastot jne.

Rakenteiden staattisten ja dynaamisten tuulikuormien arvioimiseksi on kirjallisuudessa esitetty useita meteorologisiin tietoihin nojautuvia menetelmiä.

Tuulen suunnalla ja nopeudella on hetkellisesti ja paikallisesti satunnainen arvo. Tässä esityksessä rajoitutaan tarkastelemaan vain keskimääräisen tuulen suuntaisia voimia ja tuulennopeuden vaihteluita. Täten tarkastelun ulkopuolelle jää ko. suuntaan nähden poikkittaisen ja vertikaalisen tuulennopeuden vaihtelujen vaikutus.

## 2. PERUSTUULIKUORMA JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Perustuulikuorman määrittäminen

Perustuulikuorman määrittämistä varten on tunnettava tuulenpaineen jakautuma rakenteen pinnalla sekä tuulen keskimääräinen nopeus  $\bar{u}(z)$  tietyllä aikavälillä  $t$  (esim.  $t = 1 \dots 10-60$  min) ja esiintymistodennäköisyydellä (esim. kerran 30 vuodessa). Tämän lisäksi on tunnettava tuulen vertikaalijakautuma eli nopeusprofiili (tuuligradi-entti).

Tuulen aiheuttama keskimääräistä tuulennopeutta vastaava perustuulikuorma on

$$F = \int_A C(z) \rho \bar{u}(z)^2 dA(z) / 2 = C \cdot \bar{q}(z) \cdot A \quad (1)$$

missä  $C(z)$  on rakenteen ns. muotokerroin,  $C$  koko rakenteen muotokerroin,  $\bar{q}(z) = \rho \bar{u}(z)^2 / 2$  kineettinen tuulenpaine ja  $dA(z)$  rakenteen projektiopinta-alan alkio tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa korkeudella  $z$ .

### 2.2 Nopeusprofiili

Maan pinnan vaikutus ulottuu vertikaalisuunnassa vain tiettyyn maastotyyppistä riippuvaan ns. gradienttikorkeuteen  $z_g$  saakka. Tämä korkeus määräytyy kohtaan, missä  $\bar{u}(z)$  on riittävällä tarkkuudella  $\bar{u}(z = \infty)$ . Ko. kohdan tuulennopeutta eli gradienttinopeutta merkitään  $\bar{u}_g$ :llä ja se riippuu vain ilmatilan suurempien alueiden paine-eroista.

Kun gradienttinopeus ja -korkeus tunnetaan, saadaan tuulen keskimääräinen nopeus missä tahansa korkeudessa potenssilaista, jonka Helman totesi jo tämän vuosisadan toisella kymmenluvulla. Tämä

kuuluu

$$\frac{\bar{u}(z)}{\bar{u}_g} = \left(\frac{z}{z_g}\right)^\alpha \quad (2)$$

missä  $\alpha$  on maaston karheudesta ts. maastotyyppistä riippuva vakio. Avoimelle maastolle  $\alpha = 0,14$ , metsäiselle  $0,22$  ja kaupunkialueelle  $0,35$ .

### 2.3 Rakennuspaikan korkeuden vaikutus perustuulipaineeseen

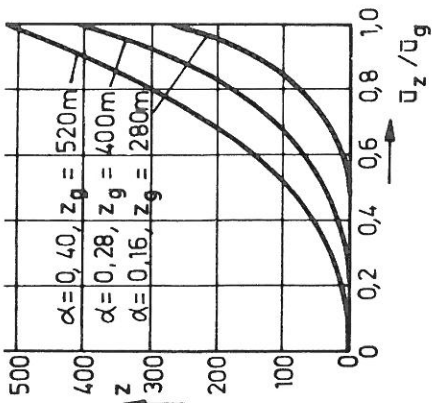
Maasto vaikuttaa perustuulipaineen suuruuteen potenssilain mukaan maastotyyppistä määräytyvän eksponentin kautta. Normaalisti tuulikuormia laskettaessa ei erotella tehdäänkö rakenne jossakin maastotyyppissä sellaiseen kohtaan, joka on muuta maastoa ylempänä.

Jos rakennuspaikka on huomattavasti ympäristöään korkeammalla, perustuulipainetta määritettäessä on syytä käyttää täyteläisempää nopeusprofiilia, jonka gradienttinopeuttakin on korotettava. Kuvassa 2 on esitetty IASS:n [4] ehdotus perustuulipaineeksi ristikkorakenteisille mastoille. Kuvaan on merkitty myös rakenteiden kuormitusmääräysten [10] mukainen tuulenpaineikäyrä vastaavalle rakenteelle.

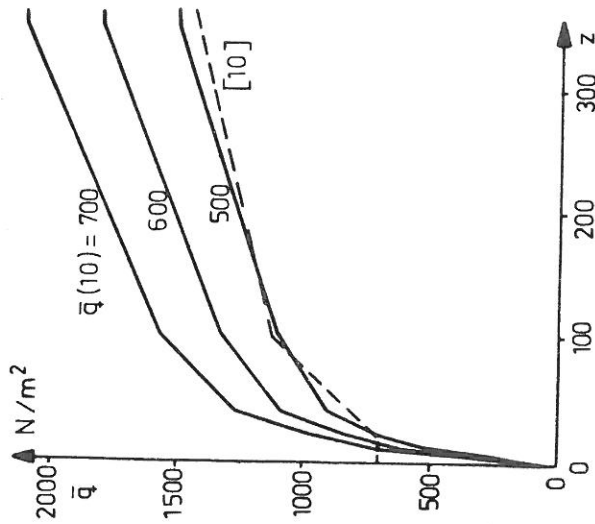
### 2.4 Muotokertoimista

Tuulitunnelikokeissa määritettävistä rakenteiden muoto- eli vastuskertoimista puututaan tässä yhteydessä lähemmin vain sylinterin muotokertoimeen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin sekä erilaisien poikkipintamuotojen ja niistä koostettujen avoimien ristikkorakenteiden muotokertoimiin.

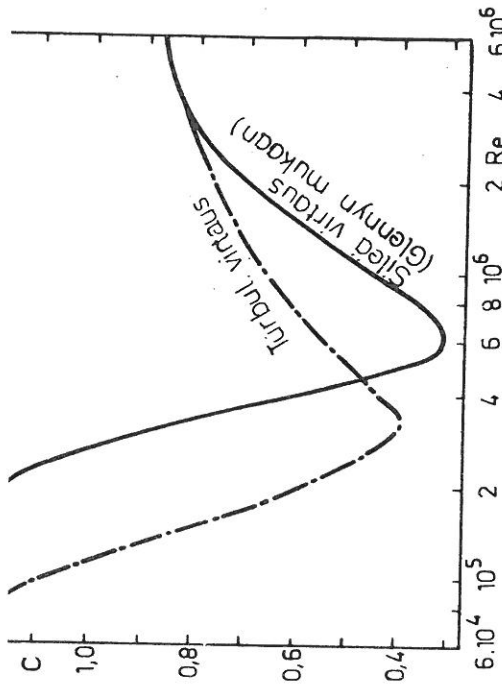
Kokeissa määritetyt muotokertoimet ovat tiettyssä määrin epätarkkoja, kosta tavallisesti ei ole mahdollista saada aikaan sopi-



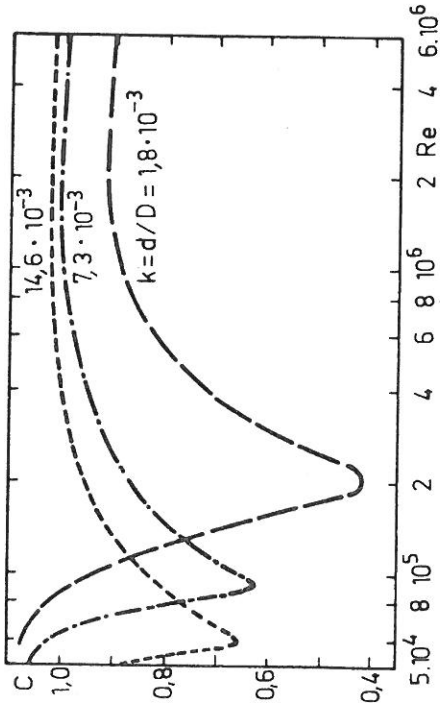
Kuva 1. Keskimääräisen tuulen nopeusprofiili Davenperten mukaan ( $t = 60 \text{ min}$ )



Kuva 2. Perustuulipaine IASS:n normiehdotuksen mukaan: vyöhyke 500, tuuliolosuhteet tunnettava hyvin: vyöhyke 600, normaalisti kyseeseen tuleva: vyöhyke 700, rakennuspaikka huomattavasti muuta maastoa ylempänä.



Kuva 3a. Ympyräsylinterin vastuskerroin Reynoldsin luvun funktiona laminaariselle ja turbulenssille virtaukselle Glenny'n mukaan.





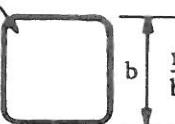

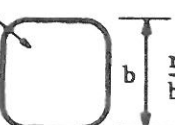



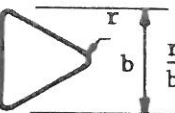

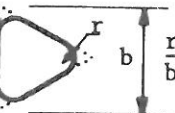

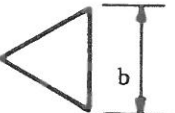

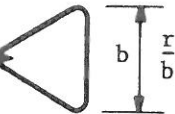
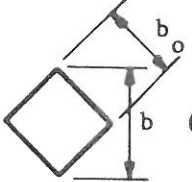
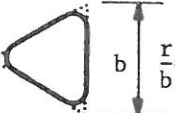
Kuva 3b. Pintakarheuden  $k = d/D$  vaikutus ympyräsylinterin vastuskerrotimeen Achenbachin mukaan.

vaa Reynoldsin lukua ( $Re$ ), joka vastaisi täysimittaisen rakenteen Reynoldsin lukua. Vaikka tämäkin vielä olisi mahdollista esim. tuulitunnelissa, jossa käytetään painetta väliaineen tiheyden muuttamiseksi, tai vesitunnelissa, ilman turbulentsisuutta ei kyetä synnyttämään, tai oikeammin sanottuna turbulenssin mittasuhte verrattuna malliin on paljon pienempi kuin vastaava suhde on todellisuudessa.

Kuvassa 3a on esitetty sileän ympyräsylinterin muotokerroin  $Re$ -funktiona, kun virtaus on sekä sileä (ilman turbulenssipallojen koko suuri rakenteeseen nähden) että turbulenttinen (ilman turbulenssipallot vaikuttavat kohtalaisen suureen rakenteeseen). Turbulenttisen virtauksen käyrä suurilla  $Re$ :n arvoilla lienee epätarkka käytettävissä olevan pienen koetulostamäärän vuoksi. Kun ilman turbulentsisuus on suuri verrattuna rakenteen paksuuteen, käytetään sileän virtauksen käyrää ja kun tuulta vastaan kohtisuora mitta on yli 2 m, käytetään turbulenttisen virtauksen käyrää. Kuvassa 3b on esitettynä pinnan karheuden  $k$  vaikutus muotokertoimeen ( $k = d/D$ , missä  $d$  on pinnan kohouman mitta).

Kuvassa 4 on poikkileikkausmuodoltaan erilaisten pitkien kappaleiden muotokertoimia ja niiden  $Re$ -pätevyysalueet, kun rakenteen korkeuden ja leveyden suhde  $\lambda = \infty$ . Jos sylinterimäisen pitkän kappaleen sivusuhte on äärellinen ( $\lambda < 40$ ), saadaan muotokertoimen pienennyskerroin kuvasta 5a sekä pinnan karheuden vaikutus kuvasta 5b.

Kuvassa 6a on tuulen suuntaa vastaan kohtisuorassa olevan taso-ristikon muotokerroin ristikon täyttösuhteen  $\phi$  funktiona redusoituna ristikon rajoittamaan koko pinta-alaan ja toisaalta ristikon osien projektiopinta-alaan. Kuvassa 6b tulee mukaan vielä sivusuhteen vaikutus. Avaruusristikon muotokerroin riippuu edellisten tekijöiden lisäksi ristikon poikkileikkauksen tuulen suuntaisen sivun suhteesta tuulta vastaan kohtisuoran sivun pituuteen.

Profiili	C	Re-alue	Profiili	C
	2.0			2.0
 $\frac{r}{b}=0.17$	$1.0 < 6 \cdot 10^5$ $0.6 > 6 \cdot 10^5$			2.1
 $\frac{r}{b}=0.33$	$1.0 < 3 \cdot 10^5$ $0.5 > 3 \cdot 10^5$			2.0 ( $C_L=0.3$ )
	2.0	+		1.8 ( $C_L=2.1$ )
 $\frac{r}{b}=0.08$	1.9	+		2.0 ( $C_L=1.2$ )
 $\frac{r}{b}=0.25$	$1.3 < 5 \cdot 10^5$			1.8
	1.3	+		2.2
 $\frac{r}{b}=0.08$	1.3	+		1.5 (2.1 $b_0$ :aan redusoituna)
 $\frac{r}{b}=0.25$	$1.1 < 5 \cdot 10^5$ $0.5 > 10^6$			

+ pätee kun  $10^4 \leq Re \leq 10^5$

Kuva 4. Poikkileikkaukseltaan erilaisten sylintereiden vastuskertoimia Delany'n ja Soerensenin mukaan.

Kuvassa 7a on esitetty muotokertoimen määrittäminen poikki-leikkaukseltaan suorakaiteen muotoiselle ristikolle. Kuvassa 7b on muotokertoimien suhde em. ristikolle, kun tuuli ei vaikuta kohtisuorasti ristikon sivutahoa vastaan.

### 3. KOKONAISTUULIKUORMA

#### 3.1 Yleistä

Edellä on tarkasteltu tuulen tiettyä aikaväliä  $t$  vastaavan keskimääräisen tuulennopeuden aiheuttamaa perustuulikuormaa. Todellisuudessa tuulen nopeus vaihtelee satunnaisesti keskinopeuden ympärillä aiheuttaen rakenteisiin dynaamisia vaikutuksia. Aivan yksinkertaisia sääntöjä tuulen dynaamisten vaikutusten arvioimiseksi ei ole löydetty. Davenport, Vickery, Vellozzi ja Cohen sekä König ovat laatineet menetelmiä, joilla dynaamisten vaikutusten huomioon ottaminen tapahtuu palauttamalla tehtävä staattista tilaa vastaavan tuulikuorman määrittämiseen.

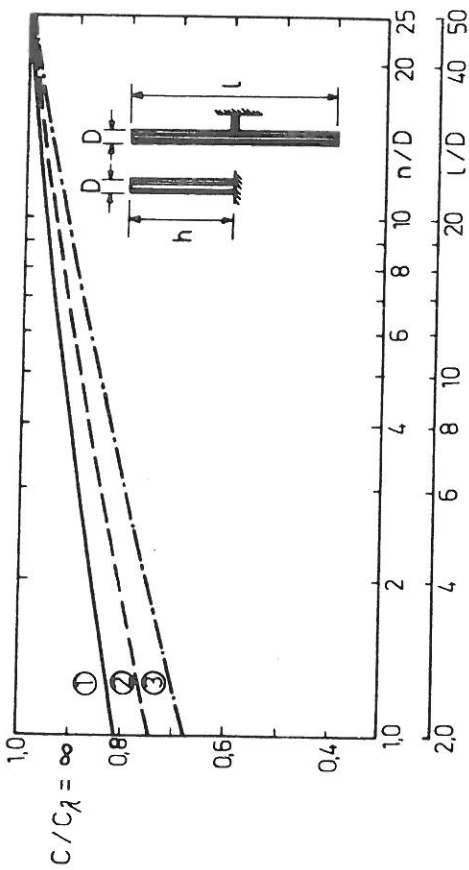
Näennäisesti yksinkertaisimmassa muodossaan puuskakerroin on likimäärin [3]

$$G = 1 + 3\sigma/\bar{u} \quad (3)$$

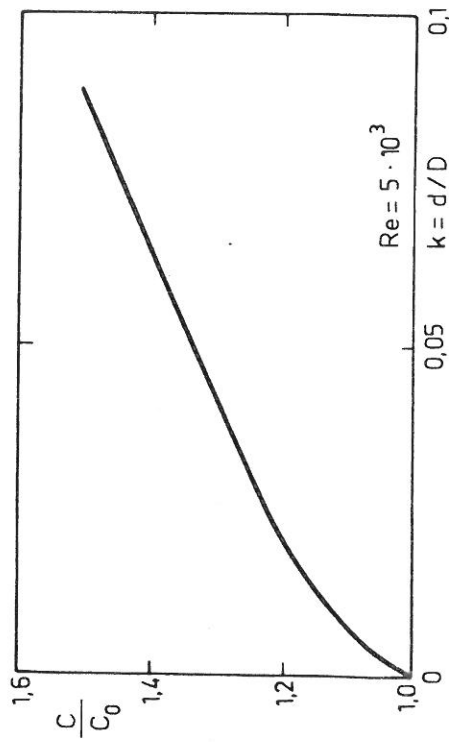
missä  $\sigma$  on tuulennopeuden vaihteluiden varianssi keskinopeuden suhteen. Varianssi riippuu kuitenkin hyvin monimutkaisella tavalla Richardsonin luvusta,  $t$ :stä sekä tuulen rajakerrosnopeudesta. Richardsonin luku on

$$Ri = \frac{g}{T} \left( \frac{g}{C_p} + \frac{d\bar{T}}{dz} \right) / \left( \frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2 \quad (4)$$

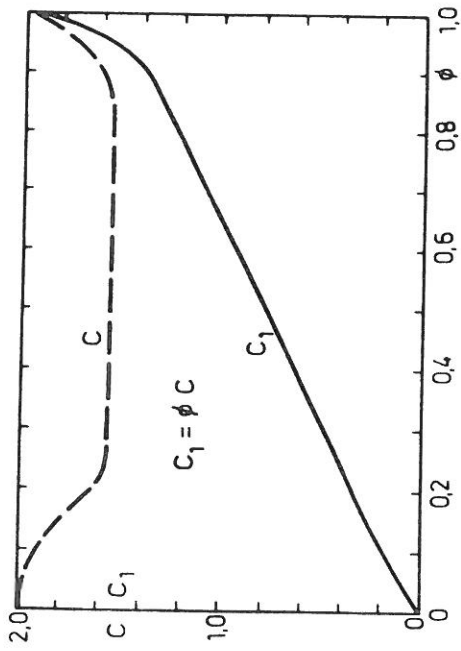
missä  $\bar{T}$  on keskimääräinen lämpötila Kelvin-asteissa,  $g$  maan vetovoiman kiihtyvyys ja  $C_p$  kuivan ilman ominaislämpö.



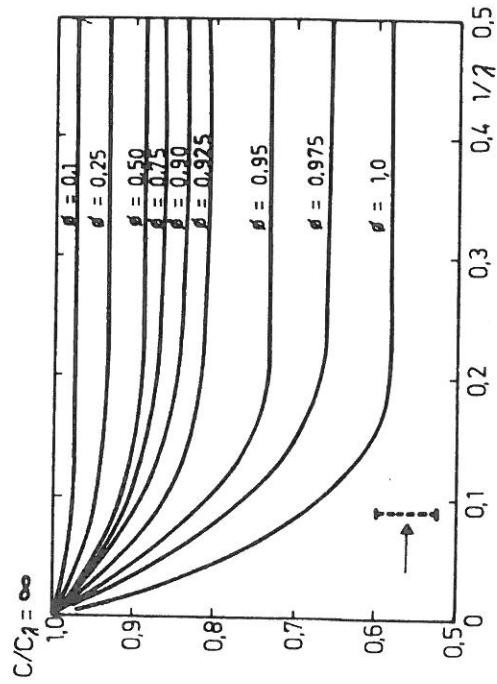
Kuva 5a. Pituudeltaan äärellisen sylinterin vastuskertoimen suhde äärettömän pitkän sylinterin vastuskertoimeen: 1 sileä ympyräsylinteri, 2 karheapintainen ympyräsylinteri, 3 poikkileikkaukseltaan teräväkulmainen sylinteri.



Kuva 5b. Karheapintaisen sylinterin vastuskertoimen suhde sileäpintaisen vastuskertoimeen karheusluvun  $k = d/D$  funktiona.

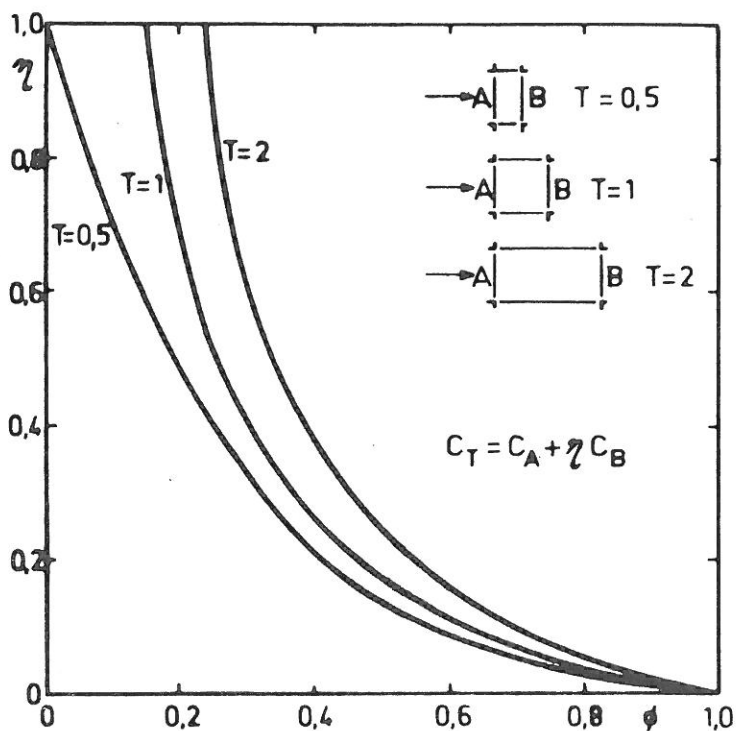


Kuva 6a. Ristikkopalkin vastuskerroin (sivu kohtisuorassa tuulta vastaan):  $C$  redusoituna sauvojen projektiopinta-alaan,  $C_1$  redusoituna ristikon koko projektiopinta-alaan, kun  $\lambda = \infty$  Cohenin ja Vellozzi'n mukaan.

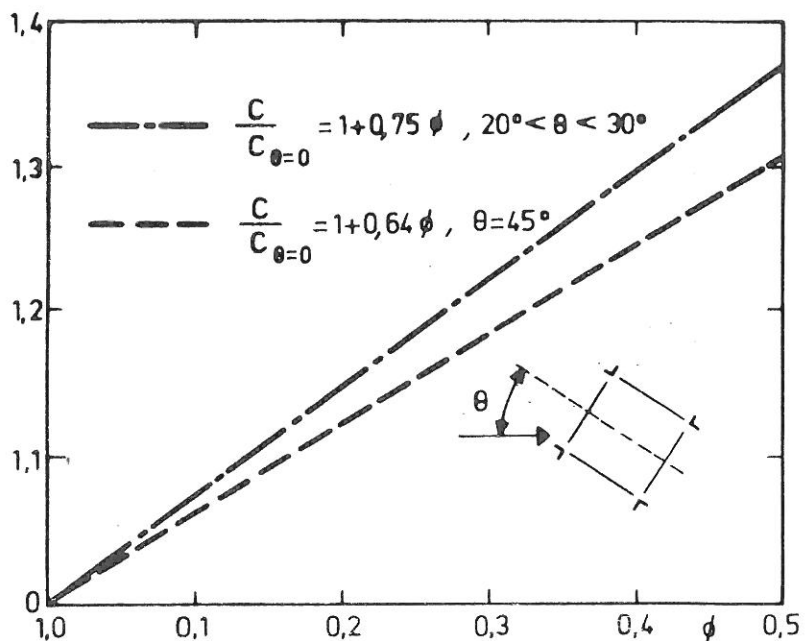


Kuva 6b. Sivusuhteen vaikutus ristikkopalkin vastuskertoimeen Cohenin ja Vellozzi'n mukaan.





Kuva 7a. Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen ristikkorakenteen vastuskerroin Cowdrey'n mukaan.



Kuva 7b. Poikkileikkaukseltaan neliön muotoisen ristikon vastuskerroin kohtauskulmalle  $\theta = 45^\circ$  ja  $20^\circ < \theta < 35^\circ$  Cohenin ja Vellozzi'n mukaan.

Tältä pohjalta määritetystä puuskakertoimesta voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä. Puuskakerroin pienenee korkeuden kasvaessa  $R_i$ :n ollessa  $< 0$ , jolloin kyseessä on epästabiili ilma. Kun ilma on stabiili ( $R_i > 0$ ), kasvaa puuskakerroin tuulen nopeuden kasvaessa. Tuulen keskimääräisen nopeuden määrittämisajan  $t$  kasvaessa kasvaa myös puuskakerroin.

Tässä yhteydessä ei ole mahdollista käydä läpi perusteellisemmin kaikkia puuskakertoimen määrittämismenetelmiä, joten seuraavassa tyydytään tarkastelemaan vain niistä ehkä tunnetuinta, Davenportin esittämää menetelmää alkuperäisestä hiukan modifioidussa muodossa.

### 3.2 Puuskakerroin Davenportin mukaan

Davenportin menetelmässä määritetään puuskakerroin, joka riippuu tuulen nopeusspektristä, rakenteen aerodynaamisista ja värähtelydynaamisista ominaisuuksista.

Kokonaistuulipaine lasketaan kaavasta

$$q(z) = GC\bar{q}(z) \quad (5)$$

missä  $G$  on peruskerroin ja  $C$  muotokerroin, jotka molemmat voivat olla  $z$ :n funktioita. Puuskakerroin lasketaan kaavasta

$$G = 1 + \bar{g}r\left\{B + \frac{SF}{\zeta}\right\}^{1/2} \quad (6)$$

Suure  $\bar{g}$  on keskimääräinen huippuarvokerroin

$$\bar{g} = \{2\log_e vt\}^{1/2} + 0,577\{2\log_e vt\}^{-1/2} \quad (7)$$

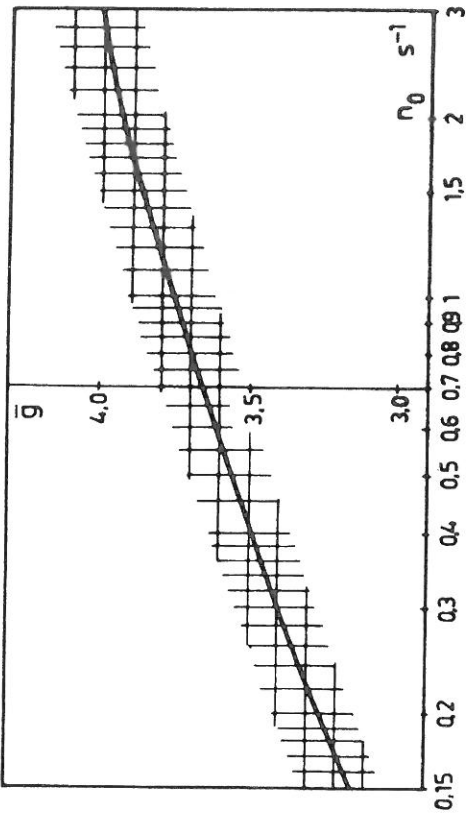
missä  $v$  on rakenteen dynaamisen vasteen spektrin avulla määritetty suure.  $\bar{g}$  on voimassa vain suurille  $vt$ :n arvoille. Rakenteille, joiden vaimennus on pieni ja  $t$ :n ollessa suuri (esim. 20 min), saadaan liian suuri  $\bar{g}$  edellä olevasta kaavasta. Kun  $t$  on 10-30 min,  $\bar{g}$  liikkuu välillä

3-3,7 useimmille rakenteille, joten käytännössä  $\bar{g}$ :tä voidaan pitää vakiona, jonka arvoksi valitaan 3,5. Kuvassa 8a  $\bar{g}$  on esitetty rakenteen ominaistaajuuden  $n_0$ :n funktiona ( $t \approx 10$  min). Suure  $r$  on karheusluku, joka riippuu rakennetta ympäröivästä maastosta ja rakenteen korkeudesta (ks. kuva 8b). Suure  $B$  on ns. taustapyörteiden vaikutuskerroin, joka riippuu rakenteen korkeudesta (ks. kuva 8c). Rakenteen koko otetaan huomioon vaikutuskertoimella  $S$ , joka riippuu dimensiottomasta taajuudesta  $n_0 h/\bar{u}$  ja suhteesta  $y/h$ , missä  $h$  on rakenteen korkeus ja  $y$  tuulta vastaan kohtisuorassa oleva rakenteen dimensio, ks. kuva 8d.  $F$  on ns. puuskaenergiasuhde, joka riippuu resonanssitilan turbulenssin aaltojen lukumäärästä  $n_0/\bar{u}$ , ks. kuva 8e. Suure  $\zeta$  on suhteellinen vaimennuskerroin, joka on lausuttavissa likimäärin logaritmin dekrementin  $\delta$  avulla,  $\zeta \approx \delta/2\pi$ . Logaritmisellä dekrementillä tarkoitetaan tässä yhteydessä rakenteen mekaanisen ja aerodynaamisen vaimennuksen logaritmisten dekrementtien summaa,  $\delta = \delta_m + \delta_a$ .

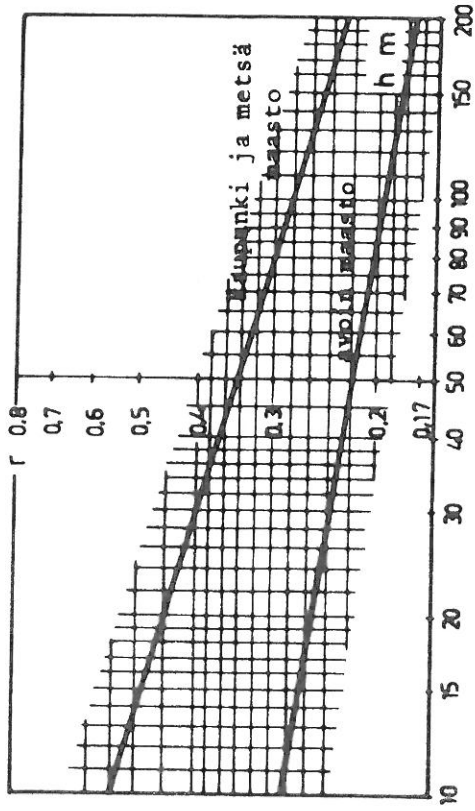
### 3.3 Arvio Davenportin menetelmän käyttökelpoisuudesta

Davenportin menetelmää on jossakin määrin arvosteltu siinä suhteessa, että sen avulla määritetyt puuskakertoimet ovat liian suuria. Tällä hetkellä on jo käytettävissä tietoja menetelmän käyttökelpoisuudesta.

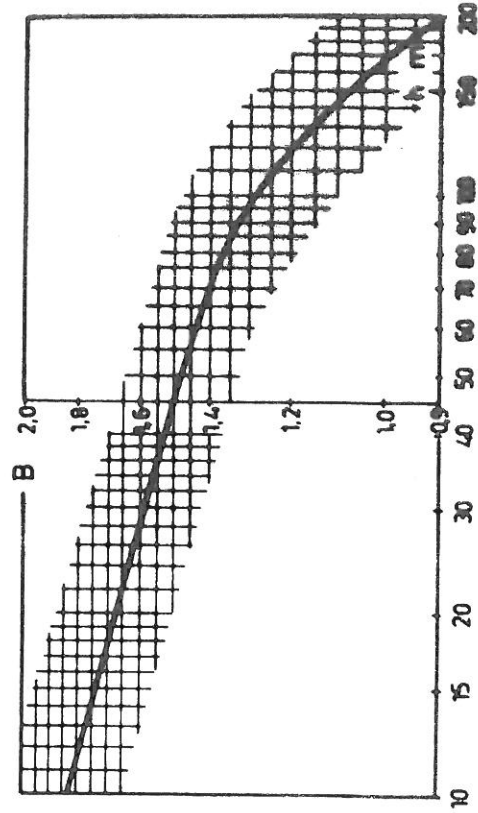
Vickery on tutkinut puuskakertoimen luotettavuutta. Hänen kehittämänsä menetelmän tarkennetun version [13] arvoihin nähden Davenportin arvot ovat n. 5 % liian suuria ja Vickeryn vanhan menetelmän arvot n. 5 % liian pieniä. Sen sijaan Vellozzi'n ja Cohenin esittämän menetelmän arvot ovat keskimäärin 18 % ja suurten rakennusten ollessa kyseessä n. 25 % liian pieniä. Tämän on todennut myös O.A. Kerensky pitäen kuitenkin Vellozzi'n ja Cohenin arvoja modernimmin



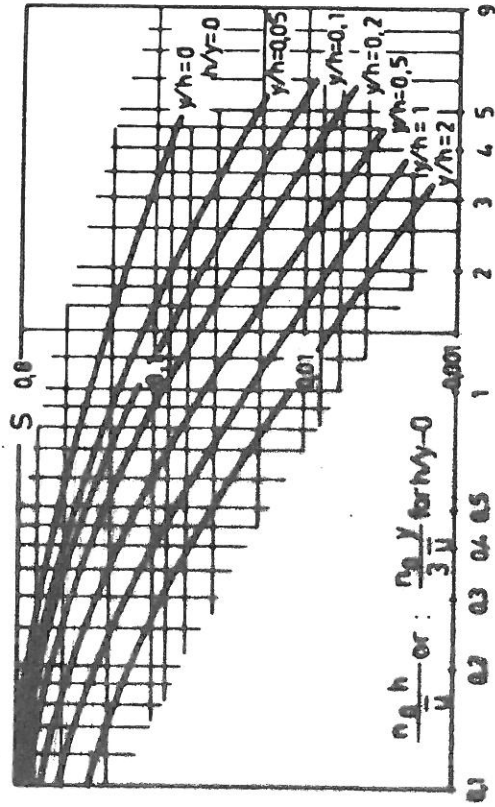
Kuva 8a. Keskimääräinen huippuarvokerroin  $\bar{g}$   $n_0$ :n funktiona.



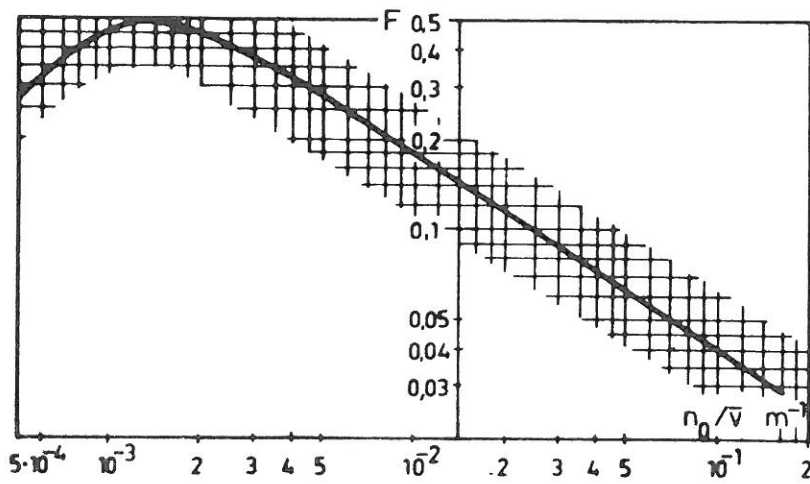
Kuva 8b. Karheusluku  $r$  rakenteen korkeuden funktiona.



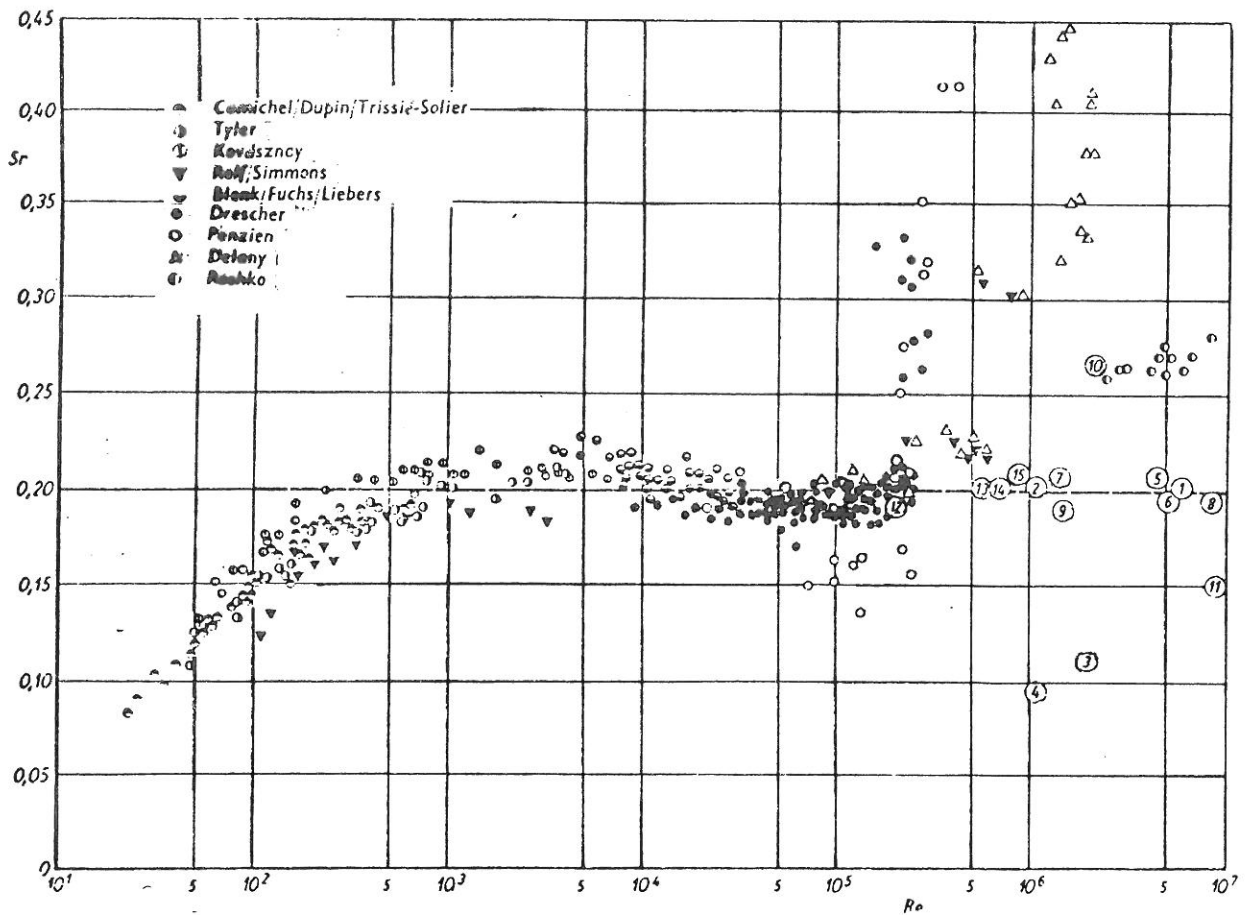
Kuva 8c. Taustapyörteiden vaikutuskerroin  $B$  rakenteen korkeuden funktiona.



Kuva 8d. Koon vaikutuskerroin  $n_0 h/\bar{u}$ :n funktiona. (kun  $h/y = 0$ ,  $n_0 y/3\bar{u}$ :n funktiona)



Kuva 8e. Puuskaenergiasuhde  $F$   $n_0/\sqrt{u}$ :n funktiona.



Kuva 9. Ympyräsylinterin Strouhalin luku  $Re$ :n funktiona eri tutkijoiden mukaan.

määritettyinä ja luotettavimpina.

Erot Vickeryn uuden ja vanhan menetelmän sekä Davenportin menetelmän välillä johtuvat koon vaikutuskertoimen ja tuulen nopeudenvaihteluiden spektrin eroista. Vellozzi'n ja Cohenin arvojen suuri eroavuus johtuu Vickeryn mukaan heidän koon vaikutuskertoimen vakavasta aliarvioinnista. Davenportin menetelmän heikkoutena Vickery näkee taustapyörteiden vaikutuksen aliarvioinnin sekä resonanssitilan vaikutuksen suhteellisen laajuuden.

König [6] on esittänyt Grimmin määrittämän tuulen dimensiottoman nopeusspektrin (puuskaisuusspektrin tiheyden) lievästi epästabiilille ja stabiilille ilmalle tuulen nopeuden ollessa suuri. Spektritiheys on riippuvainen ilman termisestä kerrostuneisuudesta (vrt.  $R_i$ ). Grimmin tuloksia voidaan pitää termisesti neutraalin ilman raja-arvoina. Davenportin esittämä vastaava käyrä asettuu po rajojen väliin, joten Davenportin antamat arvot on vahvistettu uusilla tutkimustuloksilla.

Tuulitunnelikokeissa (Vickery, Davenport) korkeiden rakennusten pienoismalleilla saadut tulokset osoittavat, että korkealle rakennukselle saadaan avoimen maaston nopeusprofiilia käytettäessä sekä Davenportin että Vickeryn mukaan liian suuria arvoja, kun sen sijaan kaupunkimaastoa vastaavat arvot ovat hyvin sopuoinnussa koetulojen kanssa. Edellä oleva seikka on ilmeisesti otettu huomioon IASS:n määräysehdoituksessa [4], jossa puuskakerroin mastoille laskeaan käyttäen perustuulipaineen arvona 70 % todellisesta arvosta.

#### 4. TUULEN AIHEUTTAMISTA RAKENTEIDEN VÄRÄHTELYISTÄ

Tuulen synnyttämiä kuormia, jotka aiheuttavat rakenteen värähtelyjä tai antavat herätteen värähtelylle, on seuraavia tyyppisiä:

1. puuskien aiheuttamia
2. virtauksen säännöllisestä irtoamisesta johtuvia
3. ylävirrassa olevan esteen aiheuttamasta turbulentsisuudesta johtuvia
4. aerodynaamisesta epästabiilisuudesta johtuvia.

Puuskien aiheuttamat kuormat tulevat huomioiduksi puuskaker-toimessa eikä puuskan aiheuttamia rakenteen värähtelyn luotoisia värähtelyjä ole syytä tarkemmin tutkia. Sen sijaan toisena ja neljätenä mainittuihin kuormatyyppeihin on tietynlaisissa rakenteissa kiinnitettävä erityistä huomiota.

S.K. Laine on käsitellyt artikkelissaan [7] von Kármánin pyörreeradan synnyttämiä ympyräsylinterien värähtelyjä. Kuvassa 9 on esitettyinä Langerin lukuisten tutkijoiden tuloksista kokoama ympyräsylinterien Strouhalin luku Reynoldsin luvun funktiona

$$Sr = nD/u \quad (8)$$

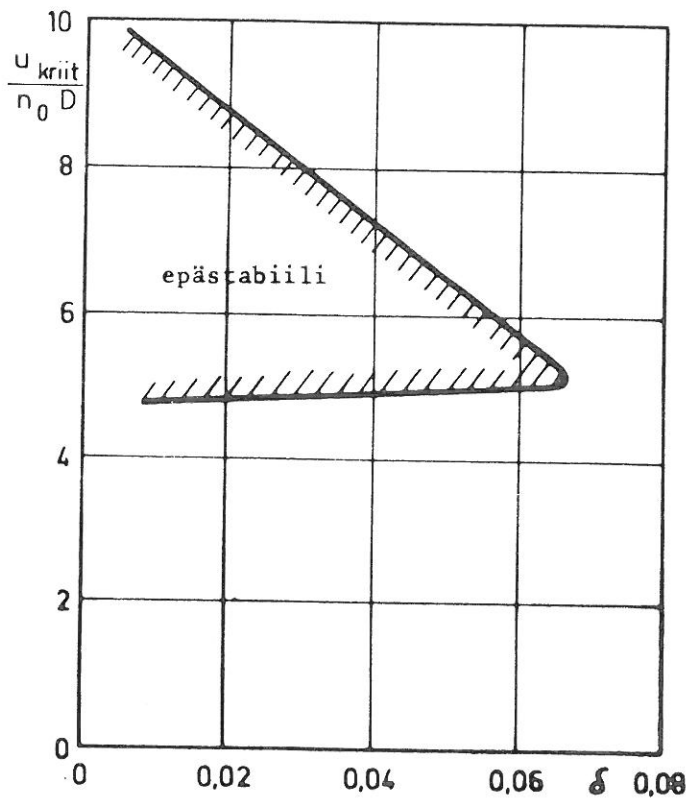
Kuvassa 10 on esitettyinä Scrutonin [1] määrittämä teräksisen ympyräsylinterien epästabiili alue. Myös voimajohdot ja mastojen haruslangat voivat värähdellä Kármán-värähtelyä.

Poikkileikkaukseltaan neliönmuotoisen sauvan laukkaavaa (galoping)värähtelyä Laine on myös käsitellyt artikkelissaan, joten tyydyttäköön tässä yhteydessä esittämään vain Scrutonin määrittämä käyrästä poikkileikkaukseltaan neliön muotoisen sauvan aerodynaamisen epästabiilisuuden toteamiseksi.

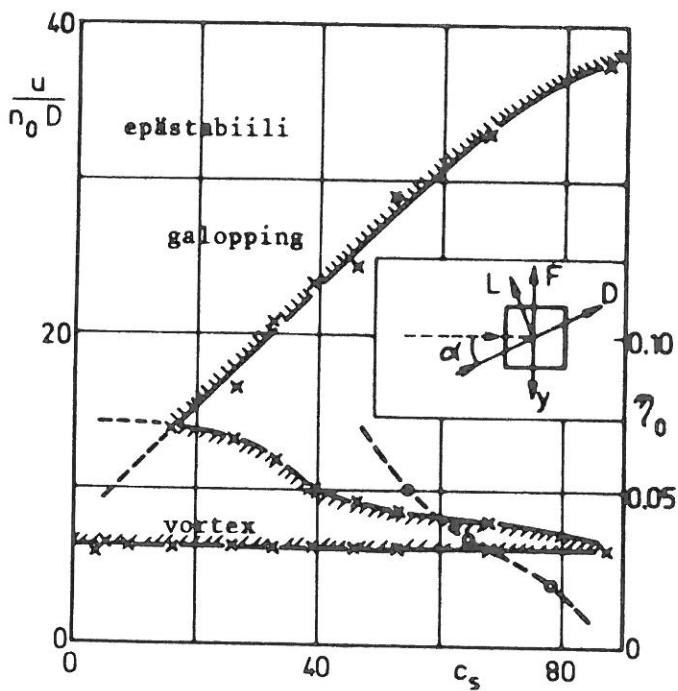
Kuvan abskissa-akselin suure on

$$c_s = 2m\delta_m/\rho D^2 \quad (9)$$

missä  $m$  on rakenteen massa per pituusyksikkö,  $\delta_m$  sisäisen vaimennuksen logaritminen dekrementti,  $\rho$  ilman tiheys ja  $D$  neliön sivun mitta.



Kuva 10. Terässylinterin aerodynaamisesti stabiili- ja epästabiili alue. Scrutonin mukaan.



Kuva 11. Poikkileikkaukseltaan neliön muotoisen sylinterin aerodynaamisesti stabiili- ja epästabiili alue Scrutonin ja Rogersin mukaan.

Kuviosta havaitaan, että epästabiili alue jakaantuu kahteen osaan, pyörreeradan aiheuttamaan ja laukkaavan värähtelyn alueisiin. Kuvioon on myös merkitty poikittaisamplitudin suhde neliön sivun mittaan  $\eta_0 = y/D$ , kun  $u/\eta_0 D = 6,6$ .

Voimajohdoissa ja haruksissa voi myös jäätymisestä aiheutuvan profiililoitumisen vuoksi esiintyä laukkaavaa värähtelyä. Laukkaava värähtely on esiintyessään suuren amplitudinsa ja pienen taajuutensa johdosta rakenteen kannalta helposti hyvin vaarallista.

#### Kirjallisuutta

- [1] Byggnadsaerodynamik, 25/69, Statens Institut för byggnadsforskning, Stockholm 1969.
- [2] Davenport, G., Gust loading factors, J. Struct. Div., ASCE, June 1967, ST 3.
- [3] Fichtl, Kaufman, Vaughan, The Characteristics of Atmospheric Turbulence as Related to Wind Loads on Tall Structures, U.S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards, Wind Loads on Buildings and Structures, Building Science Serie 30, 1970.
- [4] Guyed Masts, Recommendation for the analysis and structural design, IASS Committee on Tower Shaped Structures, Working Group for Guyed Masts, Draft 1, Copenhagen September 1971.
- [5] Ilveskoski, Ahrio, Näsinneula, Rakennustekniikka 1970.
- [6] König, G., Zur Windwirkung auf Gebäude, Beton und Stahlbetonbau, 2/1972.
- [7] Laine, S.K., Rakenteiden tuulikuormat ja niiden määrittäminen tuulitunnelissa, Rakenteiden Mekaniikka Vol. 5 No. 1, 1972.
- [8] Langer, W., Querschwingungen hoher, schlanker Bauwerke mit kreisförmigen Querschnitt, 394 Mitteilung aus dem Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen, IfL, Mitt. 8, Heft 5, 1969.
- [9] Rakennusten tuulikuormat, Rakennushallitus. Tiedotus 1:68.
- [10] Rakenteiden kuormitusnormit (1969). RIL 59b, 1970.

- [11] Schleich, J., Beitrag zur Frage der Wirkung von Windstößen auf Bauwerke, Der Bauingenieur 41, Heft 3, 1966.
- [12] Scruton, C., Rogers, E., Steady and unsteady wind loading of buildings and structures, Phil. Trans. Roy.Soc.Lond. A 269 353-383 (1971) (353).
- [13] Vickery, B.J., On the Reliability of Gust Loading Factors, U.S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards, Wind Loads on Buildings and Structures, Building Science Serie 30, 1970.
- [14] Drag of towers and guyed masts, IASS Working Group on Guyed Masts, Prague 1971.
- [15] Windeffects on buildings and structures, International Research Seminar Ottawa 11-15. September 1967. Volume I, II University of Toronto.

Erkki Pennala, dipl.ins., Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.