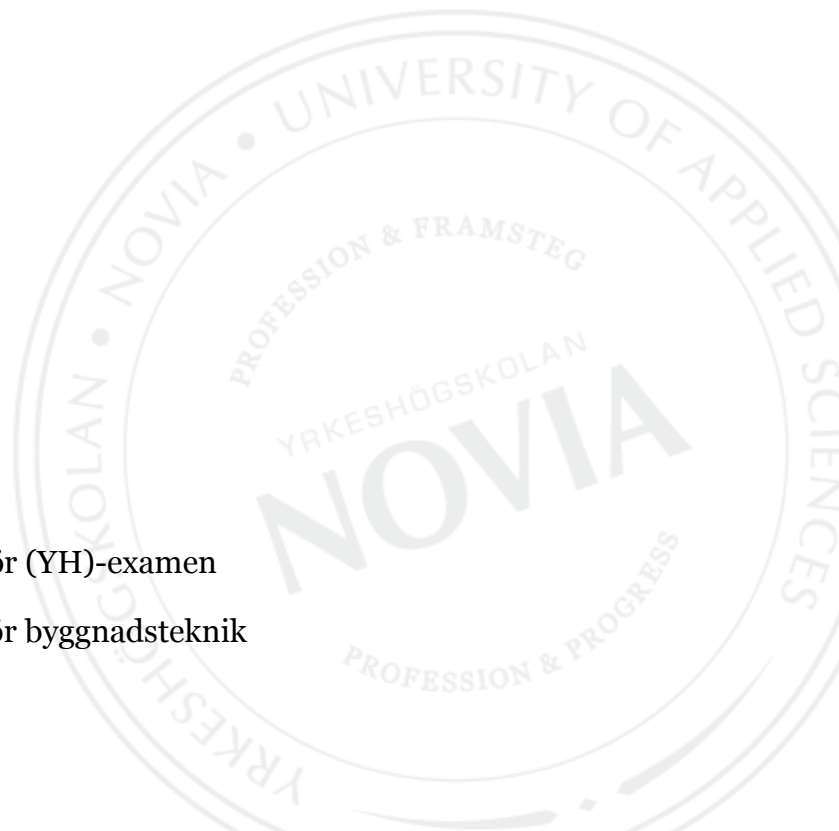


# **Beräkning av vindlaster på byggnader och bärverk enligt Eurokod**

## **Framtagande av beräkningsapplikation**

Johan Aspнас

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen  
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik  
Vasa 2016



## EXAMENSARBETE

Författare: Johan Aspnäs  
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Byggnadskonstruktion  
Handledare: Allan Andersson  
Anders Borg

Titel: *Beräkning av vindlaster på byggnader och bärverk enligt Eurokod  
– Framtagande av beräkningsapplikation*

---

Datum: 28.4.2016

Sidantal: 34

Bilagor: 3

---

### Abstrakt

I samband med att Eurokoderna togs i bruk i Finland år 2007 blev beräkningarna av vindlaster mera komplicerade än tidigare. Syftet med detta examensarbete är att effektivisera beräkningarna. Stabilisering av konstruktioner ingår oftast i dylika beräkningar, så till examensarbetet hör även att ta reda på vilka olika stabiliseringsprinciper som kan användas för att uppta horisontallaster som påförs byggnader. För att uppnå detta har en applikation utvecklat i programmet Mathcad 15, som är ett tekniskt beräkningsprogram.

Examensarbetet är uppdelat i fem delar. Först en inledande del med beskrivning av beställningen. I den andra delen beskrivs hur Eurokoderna är uppbyggda, eftersom konstruktioner i Finland bör beräknas enligt dessa. I den tredje delen förklaras hur vindlaster beräknas, både enligt Eurokod EN 1991 och enligt RIL 201, vilka har utgjort grunden för utvecklingen av applikationen. I den fjärde delen följer en redogörelse över olika stabiliseringsprinciper och hur olika material kan fungera som stabiliserande element. I den sista delen presenteras resultatet av arbetet, som är en beräkningsapplikation för framtagandet av vindlaster med tillhörande manual, samt en redogörelse för olika stabiliseringsprinciper.

---

Språk: svenska

Nyckelord: vindlast, EN 1991-1-4, stomstabilisering

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Johan Aspnäs  
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Rakennustekniikka, Vaasa  
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu  
Ohjaajat: Allan Andersson  
Anders Borg

Nimike: *Kantavien rakennusten tuulikuorman laskenta Eurokoodien mukaan*  
– *Mitoitusohjelman kehittäminen*

---

Päivämäärä: 28.4.2016    Sivumäärä: 34    Liitteet: 3

---

### Tiivistelmä

Suomessa Eurokoodien käyttöönotto vuonna 2007 teki tuulikuormien laskennasta monimutkaisemman kuin ennen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehostaa laskentaa. Rakennuksen jäykistäminen sisältyy usein tällaisiin arviointeihin, joten opinnäytetyöhön kuuluu myös selvittää mitä erilaisia jäykistämisen periaatteita voidaan käyttää rakennusten vaakakuorman vastaanottamiseksi. Tämän saavuttamiseksi, sovellus on tehty Mathcad 15 -ohjelmassa, joka on tekninen laskentaohjelma.

Opinnäytetyö on jaettu viiteen osaan. Ensiksi on johdanto-osa, jossa kuvaillaan tilausta. Toisessa osassa kuvaillaan Eurokoodien rakennetta, koska Suomessa rakenteet pitäisi laskea näiden mukaan. Kolmannessa osassa kerrotaan, miten tuulikuormat lasketaan sekä Eurokoodin 1991-1-4 että RIL 201 -suunnitteluperusteiden mukaan, jotka ovat olleet perustana sovelluksen valmistamisessa. Neljännessä osassa on selostettu erilaisia jäykistämisen periaatteita ja miten erilaiset materiaalit voivat toimia jäykistävinä elementteinä. Viimeisessä osassa esitellään työn tulokset, jotka ovat mitoitusohjelma tuulikuormien laskemiseen ja siihen liittyvä käsikirja, sekä selostus erilaisista jäykistämisen periaatteista.

---

Kieli: ruotsi    Avainsanat: tuulikuorma, EN 1991-1-4, rungon jäykistäminen

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Johan Aspnäs  
Degree Programme: Construction Engineering  
Specialization: Structural Design  
Supervisors: Allan Andersson  
Anders Borg

Title: *Calculation of Wind Loads on Buildings and Structural Elements According to Eurocode*  
*– Development of Calculation Software*

---

Date: 28.4.2016                      Number of pages: 34                      Appendices: 3

---

### **Abstract**

In connection with the Eurocodes were introduced in Finland in 2007, became the calculation of wind loads more complicated than before. The purpose of this Bachelor's Thesis is to improve the efficiency of calculation. Stabilization of structures are often included in similar calculations, so the thesis also strives to find out which different stabilization principles can be used to occupy horizontal loads which are imposed on buildings. To achieve this, an application has been prepared in Mathcad 15, which is a technical calculation program.

The thesis is divided in five sections. Firstly, there is an introductory part describing the order. The second part describes how the Eurocodes are structured, because structures in Finland should be calculated according to these. The third part explains how wind loads are calculated, both according to Eurocode 1991-1-4 and according to RIL 201, which has been the basis of the construction of the application. The fourth part is a description of different stabilization principles and how different materials can act as stabilizing elements. The final part presents the result of the thesis, which is a calculation application for the development of wind loads with an associated manual, and an account of different stabilization principles.

---

Language: Swedish                      Key words: wind load, EN 1991-1-4, structural stability

---

# Innehållsförteckning

1	INLEDNING .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte och problemformulering .....	1
1.3	Metodval .....	1
1.4	Mål .....	2
1.5	Avgränsningar .....	2
2	NULÄGESBESKRIVNING .....	3
2.1	Uppdragsgivare .....	3
2.2	Eurokoder .....	3
3	TEORETISK BAKGRUND .....	5
3.1	Allmänt om vindlaster .....	5
3.2	Vindlaster enligt Eurokod .....	7
3.2.1	Karakteristiskt vindhastighetstryck .....	8
3.2.2	Vindlast på bärverksdelar och zoner .....	12
3.2.3	Total inverkan av vind .....	18
3.3	Vindlaster enligt RIL-handbok .....	19
4	STOMSTABILISERING .....	22
4.1	Allmänt om stomstabilisering av byggnader .....	22
4.1.1	Stabilisering med fackverk .....	23
4.1.2	Stabilisering med ramverkan .....	24
4.1.3	Stabilisering med skivverkan .....	26
4.2	Stomstabilisering med olika material .....	27
4.2.1	Betong .....	27
4.2.2	Stål .....	28
4.2.3	Trä .....	29
5	RESULTAT .....	30
5.1	Beräkningsapplikation .....	30
5.2	Stabiliseringsprinciper av byggnader .....	30
6	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION .....	31
6.1	Utmaningar .....	31
6.2	Vidareutveckling av applikationen .....	31
6.3	Rekommendationer .....	32
7	REFERENSER .....	33
	BILAGOR	

## Bilagor

Bilaga 1	Eurokodernas uppdelning
Bilaga 2	Beräkningsexempel på en byggnad med åstak
Bilaga 3	Manual för beräkningsapplikationen

## Figurförteckning

Figur 1	Vindtryckets fördelning över olika strimlor.....	6
Figur 2	Vindhastighetens ökning på grund av topografin.....	9
Figur 3	Lastfördelningen för vridningseffekten som beror på vindens momentana variationer .....	14
Figur 4	Rekommenderad metod för beräkning av $c_{pe}$ -värdet för zoner med en area mellan 1 och 10 m <sup>2</sup> .....	14
Figur 5	Graf för bestämning av formfaktor för invändig vindlast .....	15
Figur 6	Vindens beteende på långa byggnader.....	17
Figur 7	Graf för bestämning av det karakteristiska vindhastighetstrycket.....	20
Figur 8	Flödesschema av beräkningsgången.....	21
Figur 9	Illustration av de tre stabiliseringsprinciperna; fackverk, ramverkan och skivverkan.....	23
Figur 10	Byggnaden i figuren är stagad endast med fackverk .....	24
Figur 11	Två vanliga typer av ramverkanskonstruktioner, den vänstra är ett pelar- och balksystem och den högra är en treledsram .....	25
Figur 12	Den vänstra figuren visar hur man kan åstadkomma en fast inspänd pelarfot och den högra är en beräkningsmodell för infästningen .....	25
Figur 13	Stabilisering av taket sker i figuren med en styv skiva. Väggarna kan göras med fackverk som i figuren, men man kan också använda sig av ramverkan eller av skivor .....	26

## Tabellförteckning

Tabell 1	Olika beräkningsmetoder för bestämning av vindlaster.....	7
Tabell 2	Tabellen förklarar de olika terrängtyperna och visar olika terrängparametrar. ....	10
Tabell 3	Rekommenderade formfaktorer beroende på vilken typ av bärverk som dimensioneras.....	13
Tabell 4	Tabell för bestämning av friktionskoefficient.....	17
Tabell 5	Värden för det karakteristiska vindhastighetstrycket. ....	21

# 1 INLEDNING

Detta examensarbete är på yrkeshögskolenivå och omfattar 15 studiepoäng. Den inledande delen berättar allmänt om bakgrunden till arbetet, syftet och problemformulering, metodval, mål samt hur arbetet har avgränsats. I arbetet används Harvardsystemet som källhänvisningssystem, alltså med uppgifter om källan i en parentes i texten.

## 1.1 Bakgrund

Beräkning av vindlaster har blivit komplicerad i samband med att nya europeiska standarder togs i bruk. Tidigare gällde Finlands Byggbestämmelsesamling men från och med november 2007 gäller de så kallade Eurokoderna också för Finland, som är standardregler för dimensionering av bärverk. Förstandarder till Eurokoderna fanns redan tidigare som man kunde använda vid dimensionering, men i mars 2010 upphävdes dessa förstandarder och ersattes av de slutliga Eurokoderna. Olika handböcker har skrivits som sammanfattar innehållet i Eurokoderna, som jag också har haft nytta av i detta examensarbete.

## 1.2 Syfte och problemformulering

Syftet med detta examensarbete är att effektivera arbetet vid beräkning av vindlaster på byggnader och på ett enkelt men ändå noggrant sätt få fram den dimensionerande vindlasten. På grund av komplicerade beräkningar av vindlaster och mängder av tabelldata som ska interpoleras, ansåg beställaren att man borde uppgöra ett program eller en applikation för detta, eftersom vindlasten i många fall är en av de dimensionerande lasterna på en byggnad i Finland.

## 1.3 Metodval

Jag har huvudsakligen använt mig av Suomen Rakennusinsinöörien Liitto:s handbok RIL 201-1-2011, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat för uppgörande av applikationen. Den officiella Eurocode 1, EN 1991-1-4: 2005, Actions on Structures. General Actions, Part 1-4: Wind Actions, har också varit användbar och jag har även jämfört med denna. En



del källor har även tagits från Sverige, bland annat en svensk Eurokodhandbok, för att få en klarare bild av vad som menas i de finska versionerna.

Programmet som jag har valt att uppgöra applikationen i är Mathcad 15, eftersom beställaren ansåg att detta program skulle vara mest ändamålsenligt för denna applikation. Detta program har jag delvis erfarenhet av från tidigare, men en hel del programmering krävs för att få en användbar applikation, så olika forum och programtillverkarens hemsida har varit till stor hjälp. För att få en bättre uppfattning om hur vindlaster påverkar byggnader och hur de beräknas har diskussioner gjorts, främst med beställaren men också med handledarna. Examensarbetet innehåller även en analys över olika stabiliseringsprinciper av byggnader. För att klargöra dessa har jag använt mig av intervjuer med uppdragsgivaren och litteraturstudier inom ämnet.

## **1.4 Mål**

Målet med detta examensarbete är att skapa en applikation för beräkning av vindlaster som påverkar en byggnad. Även en utredning på vilka olika sätt en byggnad kan stabiliseras är en del av detta examensarbete, eftersom stabilitetskontroller vanligen ingår i dylika beräkningar. En tillhörande manual har också uppgjorts så att man vet hur applikationen skall användas. För att använda programtillämpningen skall man inte behöva känna till hur programvaran fungerar eller hur tillämpningen är uppbyggd, utan man skall klara av att beräkna vindlasten endast med hjälp av applikationen och den tillhörande manualen.

## **1.5 Avgränsningar**

Arbetet har avgränsats så att tre olika applikationer har uppgjorts för beräkning av vindlaster, en för ås- och motfallstak, en för plattak och en för pulpettak. Beräkning av vindlaster som verkar på väggarna kan tillämpas oberoende taktyperna och manualen är också anpassad för alla tre applikationer. Utredningen om stabilisering har inte integrerats i tillämpningen, men det finns med i examensarbetet eftersom det tangerar ämnet vindlaster på byggnader.

## 2 NULÄGESBESKRIVNING

Nulägesbeskrivningen berättar om uppdragsgivaren för examensarbetet och kortfattat vad företaget sysslar med. Även hur Eurokoderna är uppbyggda och vad de innefattar tas upp i detta kapitel.

### 2.1 Uppdragsgivare

Examensarbetet har utförts åt Ingenjörbyrå Kronqvist Ab som är en del av moderbolaget Kronqvist Bolagen Ab. Kronqvist Bolagen har sitt huvudkontor i Nykarleby och ingenjörbyrån har också ett kontor i Jakobstad. Till koncernen hör även Byggservice Kronqvist som är ett byggbolag och Zacus som planerar, tillverkar och monterar inredningar. Övriga hel- och delägda bolag är bland annat NKL Partners som förädlar fastigheter och Glasbruket Resort som är ett semesterboende. Koncernen har idag ett 40-tal anställda och har specialiserat sig inom flera olika områden.

Ingenjörbyrån, som är beställaren av detta examensarbete, sysslar bland annat med byggnads- och konstruktionsplanering samt fastighetskonsultation. Till ingenjörbyrån hör även Detecta, som har specialiserat sig på fuktmätningar och inomhusklimatfrågor. Förra våren började byrån också erbjuda inredningsplaneringstjänster, både för privata och offentliga miljöer.

### 2.2 Eurokoder

Tidigare har anläggnings- och byggverksamheten varit baserad på nationella regelverk och olika länder har haft sina egna regler och standarder ända tills Eurokoderna blev aktuella. Eurokoderna är konstruktionsstandarder för bärverk till byggnader som är gemensamma för hela Europa och initiativet att skapa dem togs redan 1975. Några av grundorsakerna till uppkomsten av dessa är att de skall utveckla den inre marknaden, gällande tjänster och produkter inom byggindustrin, men det är också tänkt att de skall bidra till mera enhetliga säkerhetsnivåer i byggbranschen i Europa. Eurokoderna bildar ett sammanhängande system av många standarder som är beroende av varandra. Vid dimensionering av en byggnad behöver man således använda flera delar av Eurokoderna. (European Commission, u.å.)

De första Eurokoderna publicerades redan 1984 men det var först i november 2007 som Finland tog dem i bruk, eftersom den nationella bilagan NA då blev färdig och tillämpad. Förstandarder till Eurokoderna, med beteckningen ENV, fanns tillgängliga redan tidigare som kunde användas vid dimensionering. Dessa samt motstridande nationella standarder upplöstes i mars 2010 och ersattes då med de slutliga Eurokoderna, som är gällande än idag. (Miljöministeriet, 2013)

Eurokoderna används för dimensionering av bärverk till byggnader och programmet omfattar tio olika huvuddelar. Uppdelningen samt beteckningarna av standarderna är följande:

EN 1990	Eurocode:	Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
EN 1991	Eurocode 1:	Laster på bärverk
EN 1992	Eurocode 2:	Dimensionering av betongkonstruktioner
EN 1993	Eurocode 3:	Dimensionering av stålkonstruktioner
EN 1994	Eurocode 4:	Dimensionering av samverkanskonstruktioner i stål och betong
EN 1995	Eurocode 5:	Dimensionering av träkonstruktioner
EN 1996	Eurocode 6:	Dimensionering av murverkskonstruktioner
EN 1997	Eurocode 7:	Dimensionering av geokonstruktioner
EN 1998	Eurocode 8:	Dimensionering av konstruktioner med hänsyn till jordbävning
EN 1999	Eurocode 9:	Dimensionering av aluminiumkonstruktioner

Huvuddelarna delas vidare in i mindre delar och omfattar ett 60-tal delar som visas i bilaga 1. (EN 1990, 2002, s. 6)

Det finns även en hel del fördelar med dessa gemensamma konstruktionsregler. Konkurrensen för olika projekt är idag inte bara på nationell nivå, utan på en internationell nivå, och samma standarder gäller i hela Europa. Den nationella bilagan som hör till Eurokoderna är däremot landsspecifika och innehåller parametrar som är nationellt valbara. Genom att standardisera minskar planerings- och byggkostnader samt att kompetensen och kvaliteten ökar. Även olika konstruktionshjälpmedel, såsom manualer och handböcker, samt olika program har tagits fram. (European Commission, u.å.)

### 3 TEORETISK BAKGRUND

I detta kapitel om teoretisk bakgrund berättas först allmänt om vindlaster. Vidare beskrivs det hur de beräknas enligt Eurokoderna och till sist jämförs Eurokoden EN 1991-1-4 med RIL-handboken 201-1-2011. Denna RIL-handbok har även utgjort grunden för uppgörandet av beräkningsapplikationen.

#### 3.1 Allmänt om vindlaster

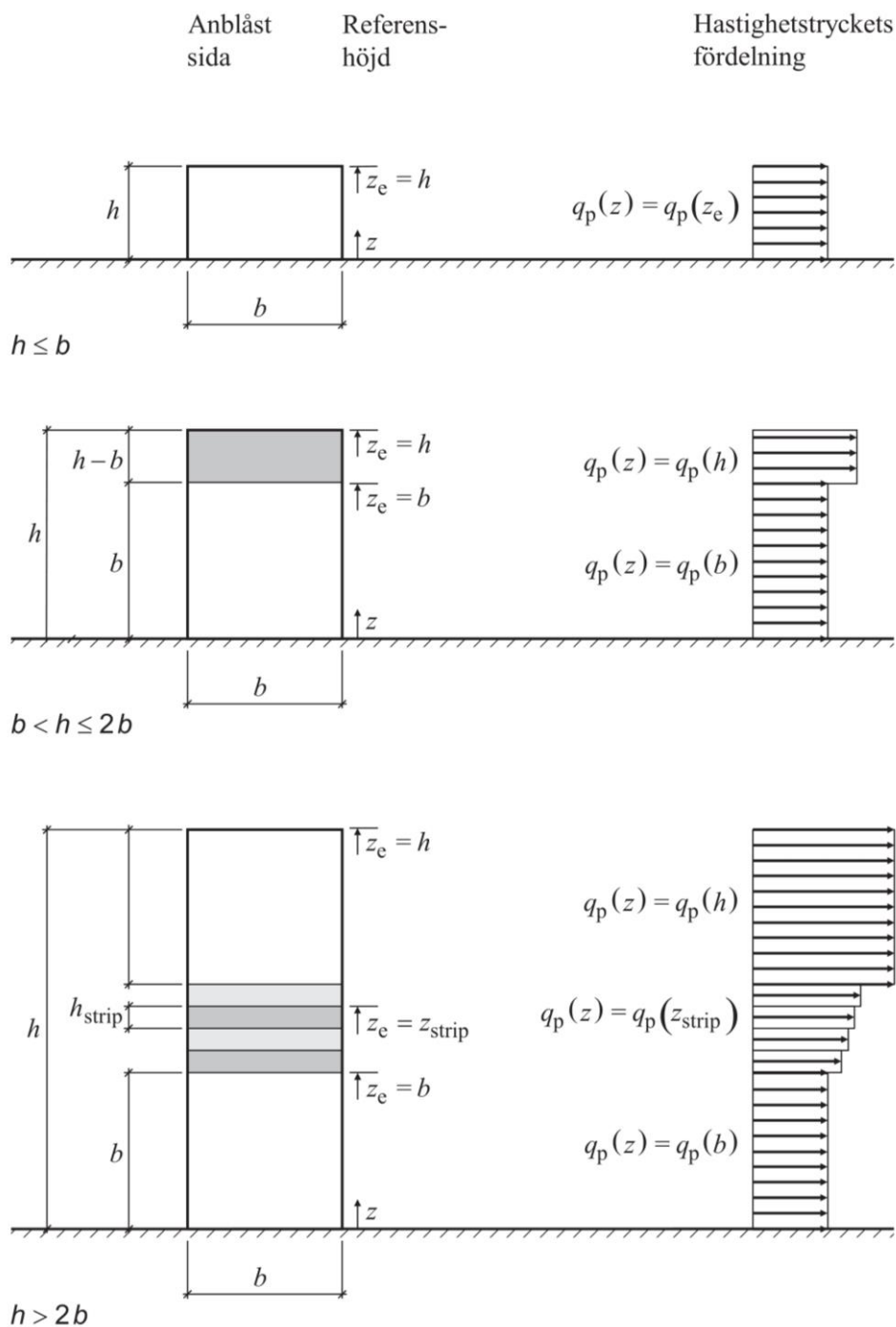
Vid dimensionering av byggnader och bärverk bör man ta hänsyn till olika typer av laster och lastfallskombinationer. En del laster är relativt enkla att få fram, som exempelvis egenvikter för olika material. Andra laster såsom snö- och vindlast är vanligen inte så enkla att beräkna eller förutspå och speciellt vindlasten beror på väldigt många faktorer.

Vindlasten uttrycks vanligtvis som en kraft per ytenhet vars intensitet varierar, men fördelningen är alltid den samma. Vid dimensionering kan vindlasten ändå betraktas att den har en bestämd fördelning över bärverket, eftersom olika parametrar vid beräkningarna tar hänsyn till den varierande intensiteten. Lasten kan både verka som ett tryck eller som ett sug på byggnadens ytor och de största vindlasterna uppstår på de yttre ytorna. Även över- eller undertryck inne i byggnaden bör beaktas. (Isaksson T., Mårtensson A. & Thelandersson S., 2010, s. 54–55)

Faktorer som påverkar vindlastens storlek är bland annat bärverkets form och dess geografiska läge. Andra parametrar som inverkar är terrängens karaktär och höjden på bärverket. Höga smala byggnader delas upp i olika tryckzoner där den högre delen av byggnaden utsätts för ett högre tryck än den lägre. Indelningen är beroende av förhållandet mellan byggnadens höjd och byggnadens bredd vinkelrätt mot vindriktningen. (EN 1991-1-4, 2005, 7.2.2) Byggnadens indelning ska utföras på något av följande sätt, som också finns beskrivet i figur 1:

- En byggnad med  $h \leq b$  utgörs av en strimla.
- En byggnad med  $b < h \leq 2b$  delas in i två delar, den lägre delen med höjden lika som bredden och en resterande övre del.

- En byggnad med  $h > 2b$  delas in i flera olika lager med de översta och nedersta delarna med höjden lika med bredden. Den mittersta delen delas in i horisontella remsor.



**Figur 1** Vindtryckets fördelning över olika strimlor. (Eurokodhandboken, 2010, fig. 6.10)

### 3.2 Vindlaster enligt Eurokod

I Eurokoden beskrivs olika sätt för beräkning av vindlaster men alla olika sätt har ändå vissa gemensamma parametrar. Beroende på vilken typ av bärverk man håller på att beräkna vindlaster för rekommenderas olika typer av beräkningssätt. (Eurokodhandboken, 2010, s. 122) I tabell 1 visas en sammanfattning av olika beräkningsmetoder. Det karakteristiska vindhastighetstrycket består av flera parametrar och behövs oberoende av om man beräknar vindlaster för olika bärverksdelar eller om man beräknar vindens totala inverkan på en byggnad. Vindlasten kan sedan skilt beräknas för olika bärverksdelar och zoner eller som en resultant för hela byggnaden. Resultanten kan beräknas på olika sätt beroende på vilken typ av bärverk som dimensioneras.

**Tabell 1** Olika beräkningsmetoder för bestämning av vindlaster.

<b>Karakteristiskt vindhastighetstryck <math>q_p</math></b>
Referensvindhastighet $v_b$
Referenshöjd $z_e$
Turbulensintensitet $I_v$
Medelvindhastighet $v_m$
Topografifaktor $c_o(z)$
Råhetsfaktor $c_r(z)$
<b>Vindlast på bärverksdelar och zoner</b>
Formfaktor för utvändig vindlast $c_{pe}$
Formfaktor för invändig vindlast $c_{pi}$
Formfaktor för nettovindlast $c_{p,net}$
Utvändig vindlast $w_e = q_p \times c_{pe}$
Invändig vindlast $w_i = q_p \times c_{pi}$
<b>Total inverkan av vind</b>
Bärverksfaktorn $c_s c_d$
Vindkraft $F_w$ beräknad med formfaktorer för kraft
Vindkraft $F_w$ beräknad med formfaktorer för utbredd vindlast

(EN 1991-1-4, 2005, tab. 5.1)

### 3.2.1 Karakteristiskt vindhastighetstryck

I Eurokoden beskrivs vindhastigheten och hastighetstrycket i dels som ett medelvärde och dels som en varierande del. Detta vindhastighetstryck är beroende av ett flertal parametrar som beskrivs längre fram i texten. Man kan få fram vindhastighetstrycket på flera olika sätt, antingen med hjälp av beräkningar eller ur tabeller. (EN 1991-1-4, 2005, 4.5) Nedan visas ett uttryck på hur detta vindhastighetstryck kan beräknas:

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

$l_v(z)$  är turbulensintensiteten på höjden  $z$

$\rho$  är luftens densitet, normalt 1,25 kg/m<sup>3</sup>

$v_m(z)$  är medelvindhastigheten

#### Vindturbulens

Vinden blåser aldrig jämt på en byggnad utan vinden kan variera kraftigt. Plötsliga ökningarna och minskningar i vindstyrkan förekommer hela tiden. Vid beräkning av turbulensintensiteten  $l_v$  motsvarar den vindens varierande del. (EN 1991-1-4, 2005, 4.4)

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad [2]$$

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{för } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad [3]$$

$$l_v(z) = l_v(z_{min}) \quad \text{för } z < z_{min}$$

$\sigma_v$  är turbulensens standardavvikelse

$k_r$  är terrängfaktorn som är beroende av råketslängden

$v_b$  är referensvindhastigheten

$k_l$  är turbulensfaktorn, vilken är nationellt olika

$c_o(z)$  är topografifaktorn, vanligen 1,0

$z_0$  är råketslängden enligt tabell 2

### Medelvindhastighet

Medelvindhastigheten är beroende av terrängens råhet, referensvindhastigheten samt av terrängens form. Enligt RIL 201-1-2011 kan terrängens inverkan försummas i nästan alla fall i Finland på grund av landets topografi. Detta innebär alltså att topografifaktorn kan sättas till 1,0. (EN 1991-1-4, 2005, 4.3)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad [4]$$

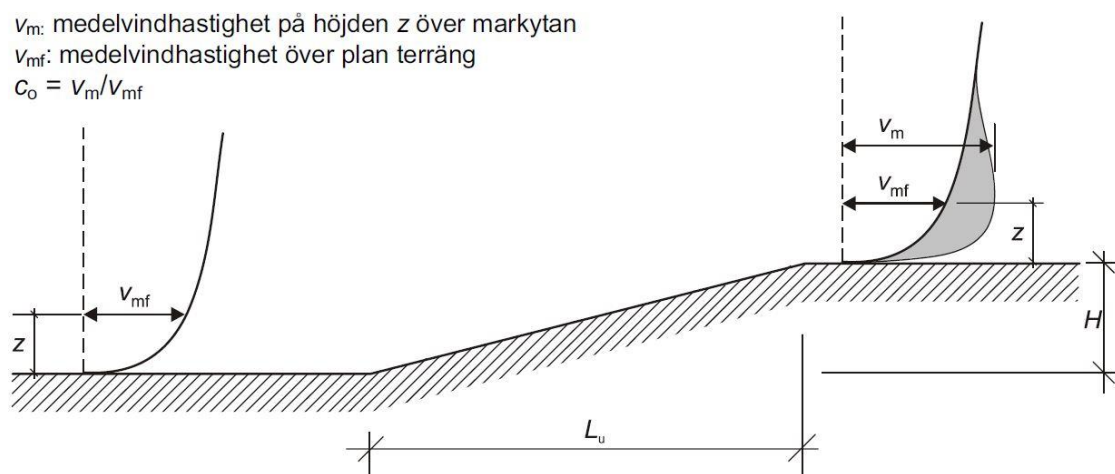
$c_r(z)$  är råhetsfaktorn

$c_o(z)$  är topografifaktorn, vanligen 1,0

$v_b$  är referensvindhastigheten

### Topografi

Topografi har att göra med terrängens fysiska form. Ifall en byggnad eller ett bärverk som ska dimensioneras är beläget till exempel på en enskild höjd, ås, brant eller en slänt ändrar vindhastigheten på grund av lovartsidans lutning. Vindhastighetens största ökning sker nära släntens toppunkt som illustreras i figur 2. I Finland, och speciellt i Österbotten, där landskapet är förhållandevis flackt, kan denna topografifaktor i nästan alla fall försummas. (EN 1991-1-4, 2005, A.3)



**Figur 2** Vindhastighetens ökning på grund av topografien. (EN 1991-1-4, 2005, fig. A.1)



### ***Terrängens råhet***

Råhetsfaktorn är baserad på en logaritmisk skala och beaktar variationen i medelvindhastighet på platsen. Faktorn beror på markens råhet på lovartsidan, som har att göra med terrängens beskaffenhet, samt vilken höjd byggnaden har över markytan. (EN 1991-1-4, 2005, 4.3.2)

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{för } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad [5]$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{för } z < z_{\min}$$

$z_0$  är råhetslängden enligt tabell 2

$k_r$  är terrängfaktorn som är beroende av råhetslängden

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad [6]$$

$z_{0,II}$  är 0,05 m för terrängtyp 2

$z_{\min}$  är den minsta höjden enligt tabell 2

$z_{\max}$  är 200 m

**Tabell 2** Tabellen förklarar de olika terrängtyperna och visar olika terrängparametrar.

<b>Terrängtyp</b>	<b>Beskrivning</b>	<b><math>z_0</math> (m)</b>	<b><math>z_{\min}</math> (m)</b>
<b>Terrängtyp 0</b>	Havs- eller kustområde utsatt för öppet hav.	0,003	1
<b>Terrängtyp 1</b>	Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder.	0,01	1
<b>Terrängtyp 2</b>	Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder såsom träd och byggnader med minsta avstånd sinsemellan lika med 20 gånger hindrens höjd.	0,05	2
<b>Terrängtyp 3</b>	Område med täckt vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största avstånd sinsemellan lika med 20 gånger hindrens höjd som t.ex. byar, förorter eller skogsmark.	0,3	5
<b>Terrängtyp 4</b>	Område där minst 15 % av arean är bebyggd och där byggnadernas medelhöjd är över 15 m.	1,0	10

(EN 1991-1-4, 2005, tab. 4.1)

### **Referensvindhastighet**

Referensvindhastighetens grundvärde kan variera mellan olika regioner. Grundvärdet är medelvindhastigheten under 10 min. på höjden 10 m ovanför marken samt med råhetsfaktorn 0,05. Detta grundvärde kan också överskridas, dock endast en gång per 50 år i genomsnitt. (EN 1991-1-4, 2005, 4.2)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad [7]$$

$c_{dir}$  är riktningsfaktorn, rekommenderat värde 1,0

$c_{season}$  är årstidsfaktorn, rekommenderat värde 1,0.

$v_{b,0}$  är referensvindhastighetens grundvärde

Från Miljöministeriet fås referensvindhastighetens grundvärde. Värdet var tidigare uppdelat så att vid kusten och på fjälltoppar var grundvärdet högre. Enligt Miljöministeriets förordning om ändring av miljöministeriets förordning om tillämpning av Eurocode-standarder inom husbyggande gäller att  $v_{b,0} = 21$  m/s är referensvindhastighetens grundvärde för hela Finland, även vid havs- och fjällområdena. (Miljöministeriets förordning om ändring av miljöministeriets förordning om tillämpning av Eurocode-standarder inom husbyggande, 2010, Bilaga 5)

Referensvindhastighetens grundvärde kan även tas från RIL 201-1-2011, del 1.4. Även där gäller att  $v_{b,0} = 21$  m/s. I den äldre versionen, RIL 201-1-2008, är grundvärdet uppdelat skilt för fastlandet, sjöområden och fjälltoppar. (RIL 201-1-2011, s. 125)

### ***Andra metoder för beräkning av det karakteristiska vindhastighetstrycket***

Det finns flera metoder för framtagandet av det karakteristiska vindhastighetstrycket. Den första metoden visades i början av kapitel 3.2.1. Nedan följer ytterligare en metod: (EN 1991-1-4, 2005, 4.5)

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad [8]$$

$c_e(z)$  är en exponeringsfaktor

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \left[ k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right]^2 \quad [9]$$

$q_b$  är referenshastighetstrycket

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad [10]$$

De övriga parametrarna beräknas enligt tidigare.

Det kanske enklaste sättet att bestämma det karakteristiska vindhastighetstrycket enligt Eurokod är ur en tabell som kan finnas i den nationella bilagan. Exempelvis i Sveriges nationella bilaga finns tabeller för detta vindhastighetstryck, som dock gäller för Sverige. Finlands nationella bilaga innehåller inte tabeller för vindhastighetstrycket, men däremot hittas motsvarande tabeller i RIL-handboken 201-1-2011. Det enda man behöver känna till när man använder tabellerna är referensvindhastigheten, terrängtypen samt byggnadens höjd. Terrängtyperna delas in i fem olika klasser enligt tabell 2. Bilder av de olika terrängtyperna finns i manualen som hittas i bilaga 3.

### **3.2.2 Vindlast på bärverksdelar och zoner**

När man ska beräkna vindlasten som påverkar ett bärverk behövs bland annat det karakteristiska vindhastighetstrycket samt formfaktorer. Formfaktorerna varierar beroende på vilken typ av bärverk som håller på att dimensioneras. Vilken faktor som passar till vilket bärverk presenteras i tabell 3. (Eurokodhandboken, 2010, s. 122)

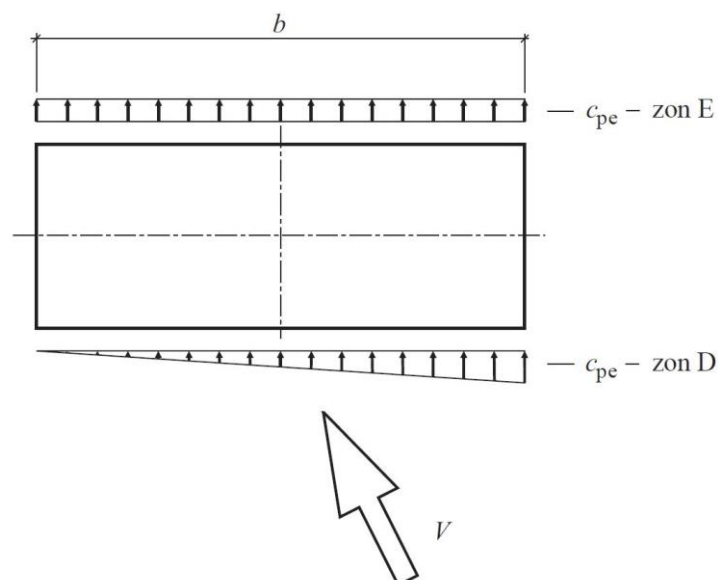
**Tabell 3** Rekommenderade formfaktorer beroende på vilken typ av bärverk som dimensioneras.

Typ av bärverk	Rekommenderad typ av formfaktor		
	Formfaktor för in- och utvändig vindlast	Formfaktor för nettovindlast	Formfaktor för kraft
Byggnader	X		
Cylindrar	X		X
Fristående skärmtak		X	
Fristående väggar, bröstningar staket		X	
Skärmar			X
Bärverksdelar med rektangulärt tvärsnitt			X
Bärverksdelar med skarpkantade tvärsnitt			X
Bärverksdelar med regelbundet polygontvärsnitt			X
Klot			X
Fackverk och byggnadsställningar			X
Flaggor			X

(Eurokodhandboken, 2010, tab. 6.3)

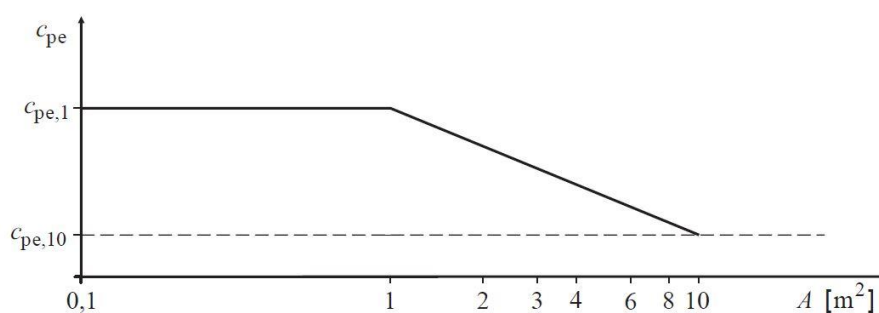
### **Formfaktor för in- och utvändig vindlast**

Formfaktorer för utvändig vindlast lämpar sig bäst att användas vid dimensionering av byggnader, eftersom de är beroende av byggnadens form. Vid dimensionering bör både in- och utvändig vindlast antas verka samtidigt. De delas upp i globala faktorer med beteckningen  $c_{pe,10}$  och i lokala faktorer med beteckningen  $c_{pe,1}$ . Dessa globala och lokala faktorer finns i tabeller i Eurokoden och bör användas för de vinkelräta vindriktningarna  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  och  $180^\circ$ . Tabellvärdena motsvarar de mest ogynnsamma inom ett område med öppningsvinkel  $\theta = \pm 45^\circ$  och beaktar på så sätt eventuell vridningseffekt på grund av momentana variationer. Denna vridningseffekt kan leda till osymmetrisk vindlast och illustreras i figur 3. Ifall is eller snö kan ändra på byggnadens form eller referensarea, bör man beakta detta vid beräkning av formfaktorerna. (Eurokodhandboken, 2010, s. 124–125)



**Figur 3** Lastfördelningen för vridningseffekten som beror på vindens momentana variationer. (Eurokodhandboken, 2010, fig. 6.7)

Byggnaden delas upp i olika zoner vars storlekar och antal varierar beroende på vindriktning och taktyp. De globala formfaktorerna används för en belastad area på över 10 m<sup>2</sup> och de lokala formfaktorerna är avsedda främst för fästdon och små element med en area på under 1 m<sup>2</sup>. För zoner med en area mellan 1 och 10 m<sup>2</sup> kan  $c_{pe,10}$ -värdet användas vid vindlastsberäkning av bärverket som helhet, som kan resultera i att vindlastens storlek underskattas. Ett alternativt och noggrannare sätt är att beräkna värdet enligt figur 4 som är baserad på en logaritmisk skala. (EN 1991-1-4, 2005, 7.2.1)



Figuren är baserad på följande villkor och uttryck:

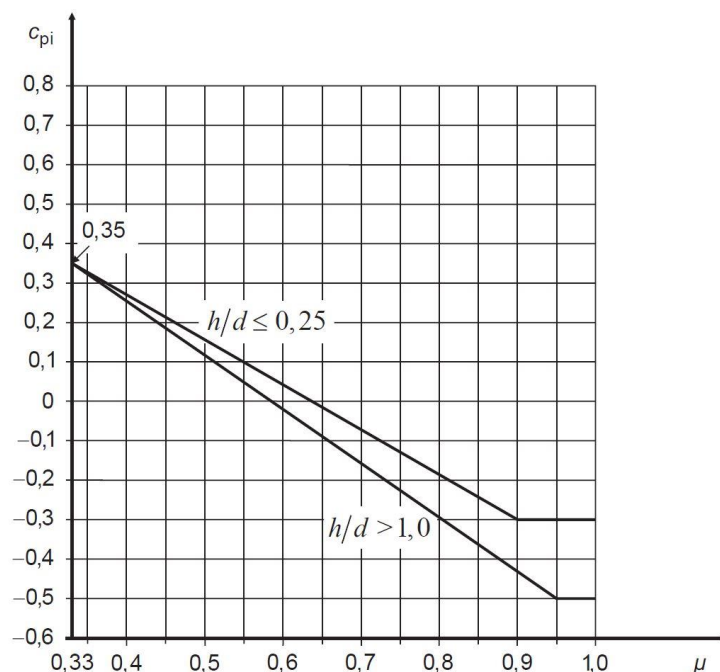
$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A \quad 1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$$

**Figur 4** Rekommenderad metod för beräkning av  $c_{pe}$ -värdet för zoner med en area mellan 1 och 10 m<sup>2</sup>. (Eurokodhandboken, 2010, fig. 6.8)

Storleken på den invändiga formfaktorn, som betecknas  $c_{pi}$ , är beroende av öppningar i byggnadens mantel som till exempel ventiler, skorstenar, öppna fönster och dylika otätheter. Ifall byggnaden har en dominant sida bör den invändiga vindlasten antas som en del av utvändiga vindlasten mot den dominerande sidan. Att byggnaden har en dominant sida betyder att byggnaden har en öppningsarea i en sida, på yttervägg eller tak, som är minst dubbelt så stor som summan av alla öppningar och otätheter på hela byggnaden. Om byggnaden inte har någon dominant sida kan formfaktorn bestämmas med hjälp av figur 5, där den relativa öppningsarean  $\mu$  beräknas skilt för varje vindriktning. (EN 1991-1-4, 2005, 7.2.9)

Den relativa öppningsarean  $\mu$  bestäms skilt för varje vindriktning med formel:

$$\mu = \frac{\sum \text{alla öppningsareor där } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{alla öppningsareor}} \quad [11]$$



**Figur 5** Graf för bestämning av formfaktor för invändig vindlast. (Eurokodhandboken, 2010, fig. 6.19)

Ifall det inte är möjligt att beräkna eller uppskatta den relativa öppningsarean bör  $c_{pi} = +0,2$  och  $c_{pi} = -0,3$  användas. Dessa värden för  $c_{pi}$  är de mest ogynnsamma formfaktorerna för invändig vindlast. (EN 1991-1-4, 2005, 7.2.9)

Vid dimensionering skall den mest ogynnsamma kombinationen av både in- och utvändig vindlast beaktas. Nettovindlasten för en bärverksdel är skillnaden mellan den utvändiga vindlasten  $w_e$  och den invändiga  $w_i$ . Det som man behöver observera är att tryck mot en yta anges som positiv och sug anges som negativ. (Eurokodhandboken, 2010, s. 118)

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad [12]$$

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} \quad [13]$$

$w_e$  är den utvändiga vindlasten per ytenhet

$w_i$  är den invändiga vindlasten per ytenhet

$q_p(z)$  är det karakteristiska vindhastighetstrycket som kan beräknas på olika sätt

$c_{pe}$  är formfaktorn för utvändig last

$c_{pi}$  är formfaktorn för invändig last

### ***Formfaktor för nettovindlast***

Formfaktorn för nettovindlast, betecknas  $c_{p,net}$ , ger den resulterande inverkan av vind på ett bärverk eller en bärverksdel. Denna formfaktor rekommenderas att använda då man dimensionerar fristående konstruktioner såsom skärmtak, väggar, bröstningar och staket. (Eurokodhandboken, 2010, s. 155)

### ***Formfaktor för kraft***

Formfaktorn för kraft betecknas  $c_f$  och är avsedd att användas vid dimensionering av till exempel cylindrar, skärmar, fackverk och byggnadsställningar. Kraftvektorn är beroende av byggnadens effektiva slankhet och förhållandet mellan byggnadens bredd och längd. Denna formfaktor för kraft, eller kraftvektor, inkluderar friktionskraft och ger den totala vindlasten på ett bärverk. Den ger ett approximativt värde och rekommenderas på så sätt att inte användas vid dimensionering av byggnader. (Eurokodhandboken, 2010, s. 23)

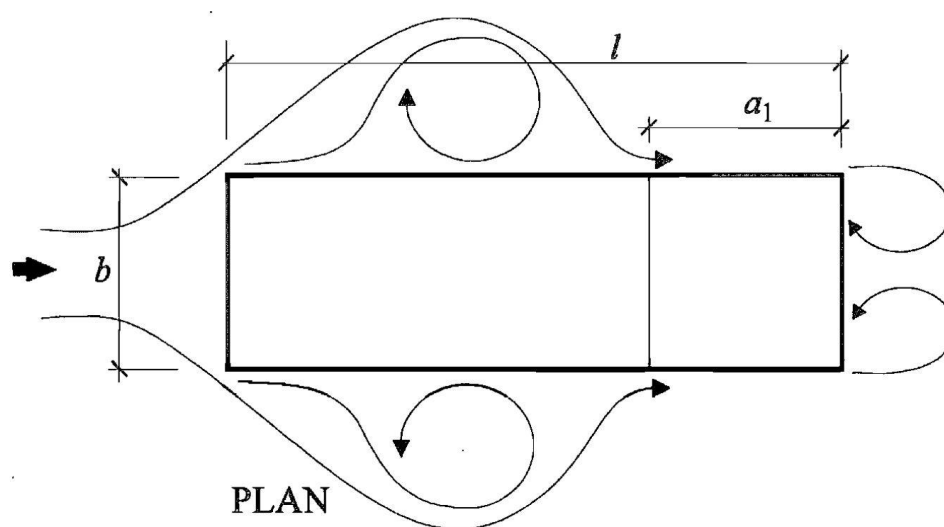
### **Friktionsfaktor**

Långa byggnader kan utsättas för en friktionskraft som hjälper till att få byggnaden att stjälpas. Denna vindfriktion bör beaktas men kan försummas om den totala arean av alla ytor som är parallella med vinden är lika med eller mindre än fyra gånger den totala arean av alla yttre ytor som är vinkelräta mot vinden. Längden av friktionsområdet, området där friktionskrafterna bör antas angripa, är ett avstånd beräknat från lovartsidans hörn som är större än eller lika med det minsta av två gånger byggnadens bredd och fyra gånger byggnadens höjd. Friktionsområdets längd motsvarar måttet  $a_1$  i figur 6. Friktionskoefficienten betecknas  $c_{fr}$  och kan bestämmas ur tabell 4. Värdet på friktionskraften blir sällan stor, men på långa byggnader med mycket ojämn fasad såsom profilering vinkelrätt mot vindriktningen kan friktionskraften ha en ganska stor andel i den totala vindlasten. (EN 1991-1-4, 2005, 5.3 & tab. 7.10)

**Tabell 4** Tabell för bestämning av friktionskoefficient.

Yta	Friktionskoefficient $c_{fr}$
Slät (stål, jämn betong)	0,01
Ojämn (ojämn betong, asfaltspapp)	0,02
Mycket ojämn (profilering vinkelrätt mot vindriktningen)	0,04

(EN 1991-1-4, 2005, tab. 7.10)



**Figur 6** Vindens beteende på långa byggnader. (Boverkets handbok om snö- och vindlast, 1997, fig. 2:31b)



### 3.2.3 Total inverkan av vind

Total inverkan av vind kan också beräknas på olika sätt. Ifall man ska beräkna den resulterande vindkraften för ett bärverk behöver man känna till ytterligare några parametrar. Nedan följer beskrivningar till de parametrar som behövs.

#### ***Bärverksfaktor***

Bärverksfaktorn betecknas  $c_s c_d$  och kan delas upp i en storleksfaktor  $c_s$ , på grund av att det karakteristiska vindhastighetstrycket inte uppträder samtidigt över en större yta, och i en dynamisk faktor  $c_d$ , som har att göra med bärverkets svängningar på grund av turbulens. Denna faktor kräver komplicerade beräkningar men kan sättas till 1,0 i bland annat följande fall: (EN 1991-1-4, 2005, 6.1)

- a) För byggnader med en höjd under 15 m
- b) För fasad och takelement med egenfrekvens över 5 Hz
- c) För ramverksstommar som är längre än 100 m, har avstyvande väggar och vars höjd är mindre än fyra gånger längden i vindens riktning
- d) För skorstenar vars höjd är lägre än 6,5 gånger diametern och lägre än 60 m

Den nationella bilagan kan även innehålla figurer varifrån man också kan bestämma värdet på bärverksfaktorn. (EN 1991-1-4, 2005, 6.2)

#### ***Total vindlast med kraftvektor***

Den totala vindlasten kan beräknas med hjälp av formfaktorer för kraft. Detta beräkningssätt är mest lämpat för cylindrar, skärmar, fackverk, byggnadsställningar och dylika konstruktioner. Metoden är jämförbar med den resulterande kraften som fås genom vektorsumming. (EN 1991-1-4, 2005, 5.3)

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} \quad [14]$$

$c_s c_d$  är bärverksfaktorn, vilken normalt kan sättas till 1,0 eller bestämmas ur figurer enligt den nationella bilagan

$c_f$  är kraftvektorn

$A_{ref}$  är referensarean

### **Total vindlast med vektorsummering**

Ett annat beräkningssätt för att få fram den totala vindlasten, som lämpar sig bättre för byggnader, fås genom vektorsummering av utvändig vindlast, invändig vindlast och friktionskraft. På grund av det bristande sambandet mellan byggnadens lä- och lovartsida kan man reducera den yttre vindlasten med faktorn  $\gamma_e$ . Byggnader med  $h/d \geq 5$ , där  $h$  är byggnadens höjd och  $d$  är byggnadens längd parallellt med vindriktningen, kan den yttre vindlasten  $F_{w,e}$  multipliceras med 1,0, alltså ingen reduktion, och för byggnader med  $h/d \leq 1$  multipliceras vindlasten med 0,85. Linjär interpolation kan användas för att få fram mellanliggande värden. (EN 1991-1-4: 2005, 5.3 & 7.2.2)

$$F_w = \gamma_e \cdot F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr} \quad [15]$$

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{A_{ref}} w_e \cdot A_{ref} \quad [16]$$

$$F_{w,i} = \sum_{A_{ref}} w_i \cdot A_{ref} \quad [17]$$

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr} \quad [18]$$

$\gamma_e$  är reduktionsfaktorn för den yttre vindlasten för det bristande sambandet mellan byggnadens lä- och lovartsida

$F_{w,e}$  är den utvändiga vindlasten

$F_{w,i}$  är den invändiga vindlasten

$F_{fr}$  är friktionskraften

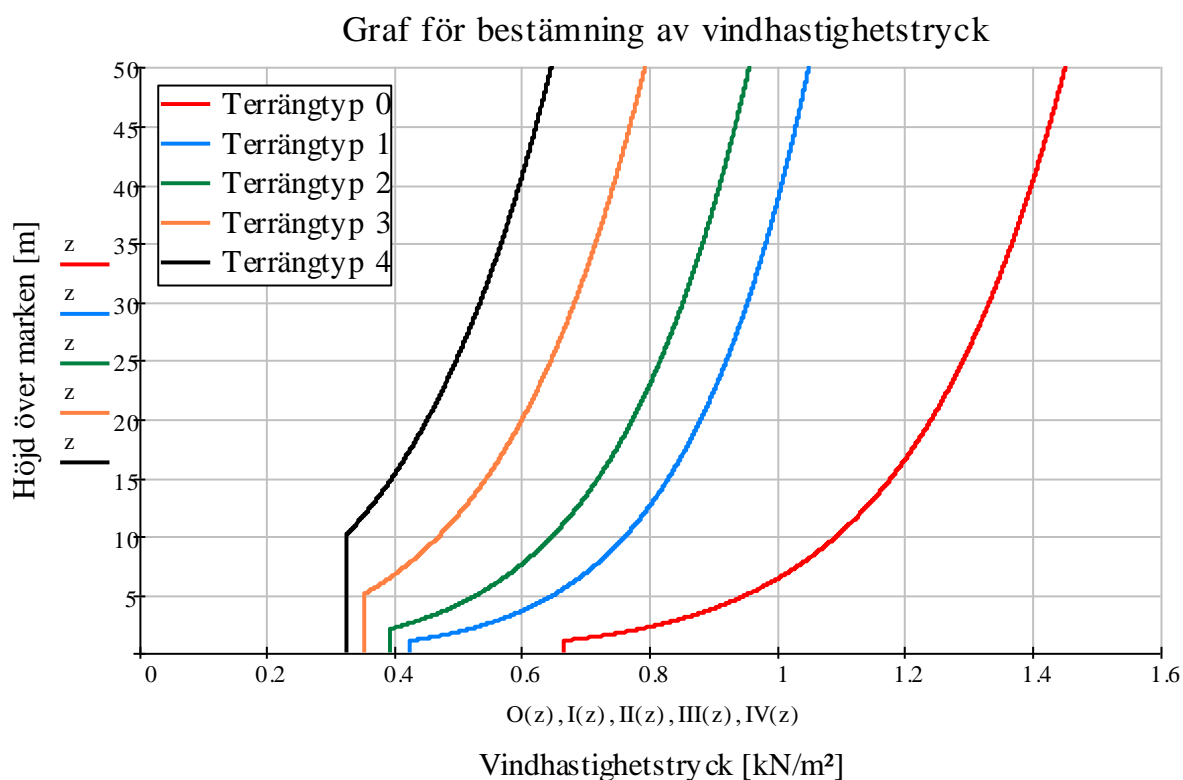
$c_{fr}$  är friktionskoefficienten

### **3.3 Vindlaster enligt RIL-handbok**

RIL står för Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry och är en landsomfattande expertorganisation, vars syfte är att främja utvecklingen av byggnadsbranschen i Finland. Organisationen grundades 1934 och består idag av över 6000 personer varav de flesta är diplomingenjörer från olika branscher. För att uppfylla målet ordnar institutionen bland annat kurser åt yrkesfolk inom byggnadsbranschen men de ordnar även internationella symposier och konferenser i Finland. RIL ger också ut handböcker och anvisningar som berör byggnadsbranschen, både som tryckta och som e-böcker. (RIL, u.å.)

Den RIL-handbok som jag har bekantat mig med i och med detta arbete är RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Den delen av handboken som berör vindlaster är baserad på Eurokoden EN 1991-1-4. Handboken beskriver beräkandet av vindlaster på ett enklare sätt än i den officiella Eurokoden, samt använder parametrar som är specifika för Finland.

Efter att ha studerat både Eurokoden och RIL-handboken som behandlar vindlaster inser man att det enda som egentligen skiljer är metoderna att ta fram det karakteristiska vindhastighetstrycket. Liksom Eurokoden har också RIL-handboken flera olika sätt för framtagning av denna parameter. Man kan bestämma detta karakteristiska vindhastighetstryck direkt ur figur 7, eller ur tabell 5, eller genom att beräkna det med samma formler som grafen i figur 7 baserar sig på. Kapitlet som behandlar vindlaster i RIL-handboken lämpar sig inte för vindlastsberäkning av mycket höga byggnader, men kan användas på de flesta vanliga byggnadsobjekten. Handboken passar heller inte för vindlastsberäkning av specialkonstruktioner såsom broar, fackverksmaster, skorstenar, master med stag eller kraftledningar. I Eurokoderna EN 1993-3-1 och EN 1993-3-2 finns noggrannare instruktioner för vindlastsberäkning av master och skorstenar. (RIL 201-1-2011, s. 119)



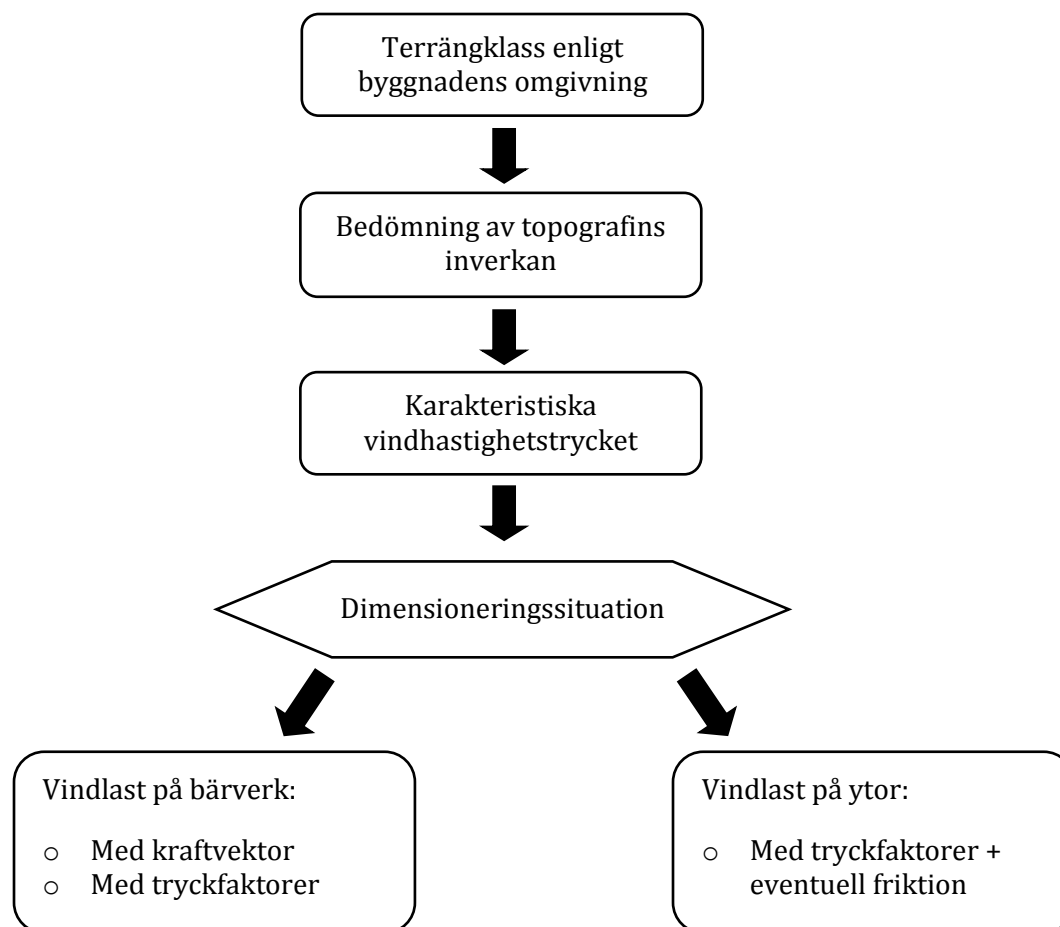
**Figur 7** Graf för bestämning av det karakteristiska vindhastighetstrycket. (RIL 201-1-2011, fig. 4.5S)

**Tabell 5** Värden för det karakteristiska vindhastighetstrycket.

z(m)	Terrängtyp				
	0	1	2	3	4
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

(RIL 201-1-2011, tab. 4.2S)

I handboken visas ett flödesschema för beräkning av vindlaster som visas i figur 8. Detta flödesschema förtydligar beräkningsgången och man får en klarare bild av vad man egentligen behöver ha reda på vid beräkning av vindlaster. (RIL 201-1-2011, s. 124)

**Figur 8** Flödesschema av beräkningsgången. (RIL 201-1-2011, fig. 3.1S)

## 4 STOMSTABILISERING

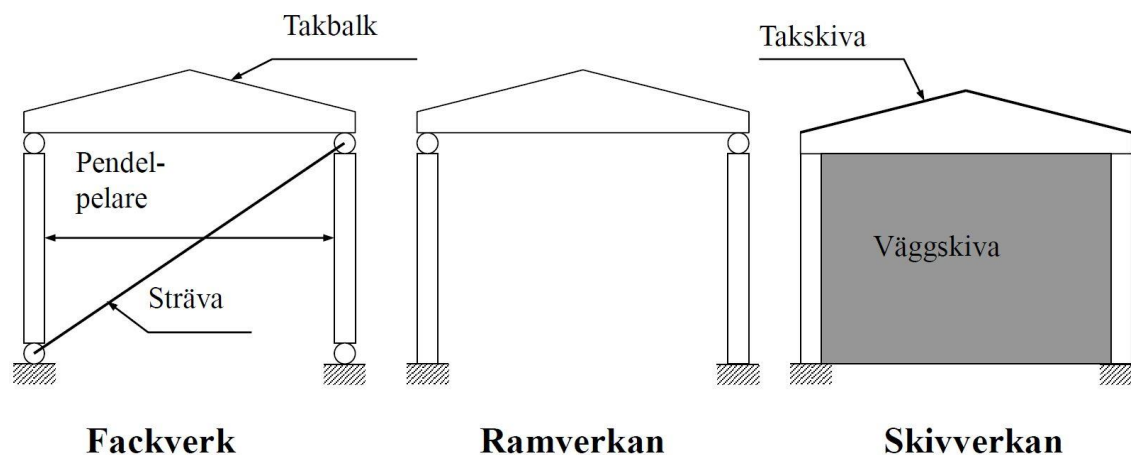
Stomstabilisering tangerar detta examensarbete eftersom man tvingas stabilisera byggnader på grund av horisontallaster. Vindlasten är en stor horisontallast i Finland så därför hanteras stabilisering i detta arbete. I detta kapitel behandlas stomstabiliseringsprinciper och hur olika material kan fungera som avstyvande element.

### 4.1 Allmänt om stomstabilisering av byggnader

Alla byggnader och bärverk utsätts för laster från olika håll. Egenvikter, nyttolaster, snö- och vindlast är några exempel på lasttyper som påförs byggnader och bärverk i allmänhet. I vissa delar av världen bör även jordbävning tas i beaktande vid dimensionering, eftersom jordbävning kan generera stora horisontella laster. (Isaksson, et al., 2010, s. 173)

Stabilisering utförs för att uppta de horisontella laster eller krafter som konstruktionerna utsätts för. Det är väldigt viktigt att den som dimensionerar en konstruktion har förståelse för hur horisontella laster skall överföras till byggnadens grund. De största horisontallasterna utgörs av vindlaster, men även excentriska laster kan leda till att horisontella krafter påförs konstruktionen. Ytterligare kan snedställningar behöva beaktas, på grund av att det är omöjligt att utföra helt lodräta element. För vissa typer av konstruktioner kan även olyckslaster, från till exempel fordon eller explosioner, jord- och vattentryck samt drivsnö bli dimensionerande även i Finland. (ICE, 2012, s. 245)

Vid stabilisering av konstruktioner finns det tre grundprinciper; stabilisering med *fackverk*, *ramverkan* och *skivverkan*. Grundprinciperna illustreras i figur 9. Dessa tre principer kan även kombineras, exempelvis en hallbyggnad där taket fungerar som en styv skiva och väggarna består av vindkryss är en mycket vanlig kombination. (Höglund, 2012, s. 1–2)

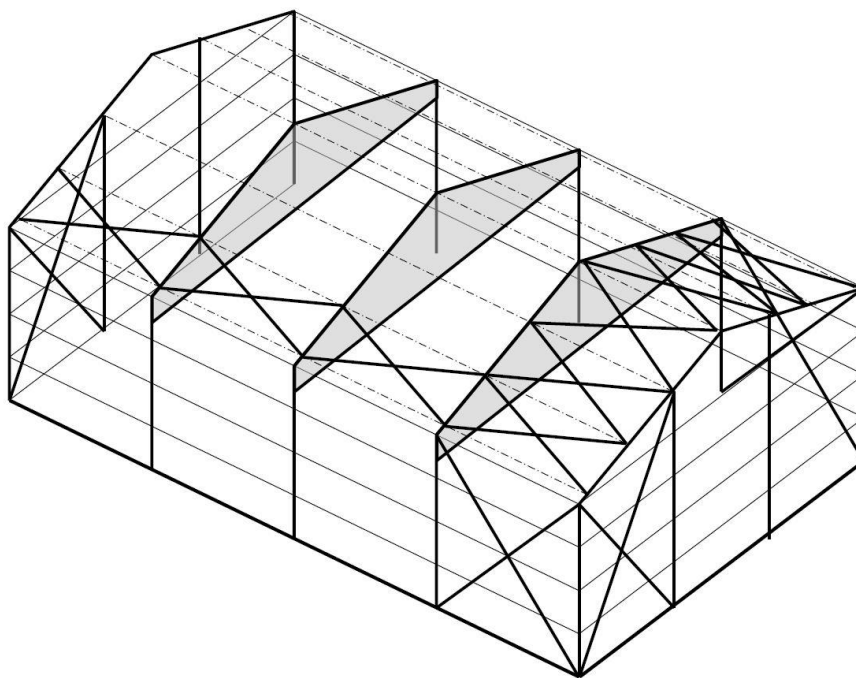


**Figur 9** Illustration av de tre stabiliseringsprinciperna; fackverk, ramverkan och skivverkan. (Isaksson, et al., 2010, fig. 4.1)

#### 4.1.1 Stabilisering med fackverk

Principen för stabilisering med fackverk är att stagen placeras diagonalt mellan konstruktionsdelar så att trianglar bildas. Stagen tar på ett mycket effektivt sätt upp tryck- och dragkrafter som de horisontella krafterna påför konstruktionen. Infästningarna kan vara ledade så att komplicerade momentstyva anslutningar undviks. Stagen placeras vanligen i kryss som leder till att de endast belastas med dragkrafter och man kan på så vis använda ett slankare tvärsnitt. Mestadels används stål i både tak- och väggkonstruktioner, oberoende av stommaterial, eftersom stålet klarar av höga dragkrafter. Stålet är dessutom ett förhållandevis lätt material, vilket är till stor fördel speciellt vid byggande av höga konstruktioner. Byggnaden i figur 10 är stagad enligt fackverksprincipen, både i taket och i väggarna. (Isaksson, et al., 2010, s. 174–175)

Nackdelen med denna form av stabilisering är att det kan vara svårt att kombinera stagen med dörr- och fönsteröppningar. Att placera stagen i eventuella inre bärande väggar kan vara ett alternativ, men även där kan öppningar förekomma. Stagen kan också ha ett estetiskt inslag och monteras synliga på utsidan av byggnaden så att de går över flera våningar. Lagerhallar och liknande konstruktioner har sällan lika mycket öppningar som ett bostadshus eller ett kontor, så stabilisering med fackverk passar på så sätt bättre för denna typ av byggnader. (Personlig kommunikation med konstruktörerna Stubb och Widdas på Ingenjörbyrå Kronqvist, 3.3.2016)

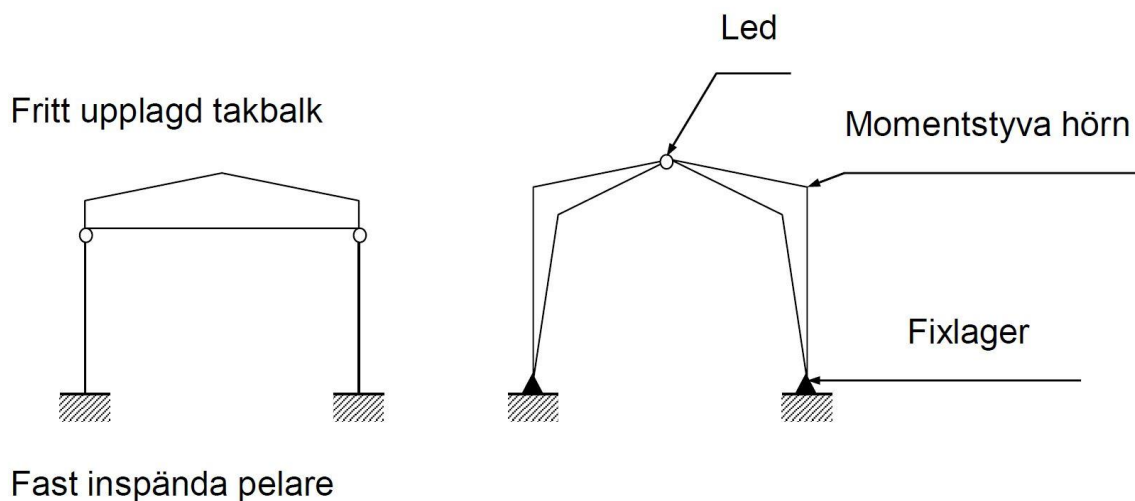


**Figur 10** Byggnaden i figuren är stagad endast med fackverk. (Isaksson, et al., 2010, fig. 4.2)

#### 4.1.2 Stabilisering med ramverkan

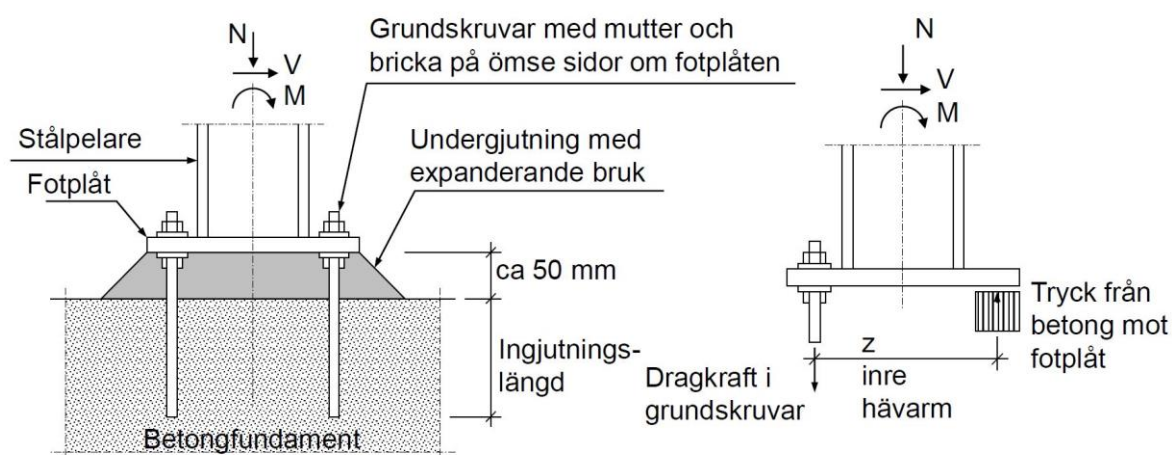
Horisontalkrafterna kan också tas upp med hjälp av ramverkan och systemet bygger på momentstyva anslutningar mellan konstruktionsdelar. De vanligaste varianterna för att åstadkomma stabilisering genom ramverkan är treledsram eller treledsbåge samt ett pelar- och balksystem där pelarna är fast inspända i grunden. I figur 11 visas två vanliga typer av ramverkanskonstruktioner. (Isaksson, et al., 2010, s. 179)

Fördelen med dessa system är att de är oberoende av sättningar i grunden och på så vis är konstruktionen *statiskt bestämd*, vilket leder till enklare beräkningar. I en *statiskt obestämd* konstruktion uppstår extra krafter i ramen ifall rambenen sätter sig olika mycket. Denna form av stabilisering passar bäst till låga byggnader, eftersom det kan bildas enorma moment vid inspänningspunkterna när konstruktionerna blir högre. Ramverkanskonstruktioner passar även bra ifall stora öppna väggytor önskas. De vanligaste materialen som används för pelar- och balksystem är stål och betong eller kombination av dem, och för ramar och bågar är limträ vanligt, men även stål förekommer. (Isaksson, et al., 2010, s. 179–180)



**Figur 11** Två vanliga typer av ramverkanskonstruktioner, den vänstra är ett pelar- och balksystem och den högra är en treledsram. (Isaksson, et al., 2010, fig. 4.4)

Systemet bygger på fast inspänning mellan konstruktionsdelar, alltså vinkeländringen vid infästningarna är noll, men detta är praktiskt taget omöjligt att åstadkomma. Små töjningar uppstår alltid i materialen men i beräkningarna kan man ändå anta att dessa infästningar är fasta inspända. Detta görs för att förenkla verkligheten och samtidigt få enklare beräkningar. I figur 12 visas hur man kan åstadkomma en fast inspänd pelarfot och hur beräkningsmodellen för en dylik anslutning skulle kunna se ut. En ledad infästning kan göras på samma sätt, dock med klenare bultar. (Isaksson, et al., 2010, s. 181–183)



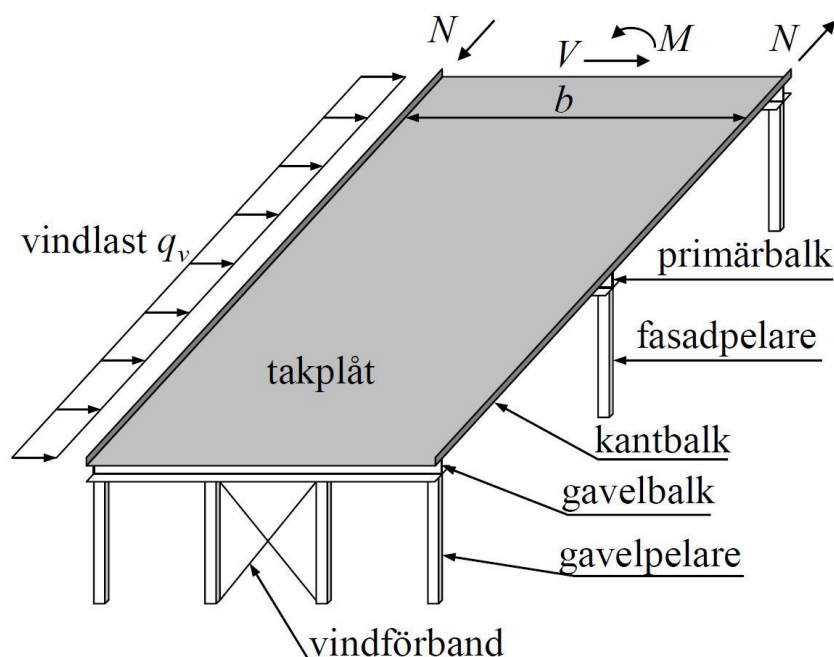
**Figur 12** Den vänstra figuren visar hur man kan åstadkomma en fast inspänd pelarfot och den högra är en beräkningsmodell för infästningen. (Isaksson, et al., 2010, fig. 4.5)



### 4.1.3 Stabilisering med skivverkan

Grundprincipen för stabilisering med skivverkan är att olika material fungerar som styva skivor och tar upp skjuvkrafter i sitt eget plan som orsakas av horisontella krafter. Skivorna kan vara både väggar och bjälklag som kan utformas av olika material såsom betong, stål eller trä. (Höglund, 2012, s. 2–3) Murverk förekommer också som styva skivor, dock inte som bjälklag eftersom de är alldeles för veika när belastning sker vinkelrätt mot dess egna plan. I gamla byggnader kan bjälklag av murverk ändå förekomma, då med hjälp av valvverkan och exempelvis stålbalkar.

Det är mycket vanligt att styva skivor kombineras med andra former av stabilisering. På låga byggnader, såsom hall- och lagerbyggnader, fungerar taket ofta som en styv skiva som tar upp horisontallasterna och för dem vidare ut till de bärande väggarna som sedan leder lasterna vidare till grunden. Väggarna i ett sådant system kan också göras av skivor, men lika bra kan fackverk användas liksom i figur 13, eller ramverkan.



**Figur 13** Stabilisering av taket sker i figuren med en styv skiva. Väggarna kan göras med fackverk som i figuren, men man kan också använda sig av ramverkan eller av skivor. (Isaksson, et al., 2010, fig. 4.19 a)

## 4.2 Stomstabilisering med olika material

Stabilisering kan utföras med olika material. Några former har redan nämnts i föregående kapitel men här beskrivs de noggrannare, såsom hur materialen vanligtvis kombineras. Även en del för- och nackdelar med materialen tas upp.

### 4.2.1 Betong

Stabilisering av konstruktioner med betong kan göras på olika sätt. Ramverkan, med pelare och balkar, samt skivverkan är kanske de vanligaste formerna av stabilisering när betong används. Strävor av betong existerar nästan inte längre men kan förekomma i viss mån, dock som tryckta stavar eftersom betongen inte klarar av dragkrafter lika bra. Betong är ett tungt material som är till fördel med tanke på stabilitetsberäkningar. Vikten ger också bra resistans mot ljud och brand, som är två viktiga egenskaper för många byggnader. Betongens massa kan också vara till nackdel, exempelvis för väldigt höga konstruktioner eller byggnader med dåliga markförhållanden. (Personlig kommunikation med Stubb och Widdas, 3.3.2016)

Stål och betong går bra att kombinera med varandra på grund av att de har liknande längdutvidgningskoefficienter. Eftersom betongen är känslig mot dragkrafter behövs armering i form av stål i nästan alla konstruktioner. Skivor som bjälklag förekommer i många olika former och samverkanskonstruktioner utvecklas hela tiden. Ramverkan, med fast inspända konstruktionselement, går ganska bra att åstadkomma med betongkonstruktioner på grund av dess styva infästningsmöjligheter. (Personlig kommunikation med Stubb och Widdas, 3.3.2016)

Vanliga bjälklagstyper, som fungerar som styva skivor, är bland annat håldäcksbjälklag, TT-plattor, massiva plattor, samverkansbjälklag samt plattbärlag. Håldäcksbjälklagen är en mycket vanlig typ av bjälklag i Finland och är vanligen prefabricerade med spännarmering och en liten överhöjning. Efter montering armeras fogarna och ringarmering placeras runt om alla plattor. Därefter gjuts plattorna ihop med varandra som tillsammans bildar en styv skiva. TT-plattor och massiva bjälklag som är prefabricerade tillverkas på liknande sätt som håldäcksbjälklagen. (Isaksson, et al., 2010, s. 136–139) Samverkansbjälklag förekommer i olika former och en variant är till exempel en profilerad plåt som fungerar som form och armering åt betongen. Plattbärlag är ett tunt, prefabricerat betongelement som har uppstickande stegar av armering. Denna typ av bjälklag kräver även en pågjutning och är på så sätt också en form av samverkanskonstruktion. (SBI, 2008, s. 85–88)

Byggnader kan även stabiliseras med hjälp av hisschakt eller trapphus. Dessa typer av schakt består vanligen av betong och kan även utgöra en stabiliserande funktion. Andra typer av stabiliserande schakt kan exempelvis vara servicekärnor, alltså schakt där bland annat rördragningar kan utföras. (ICE, 2012, s. 259)

#### 4.2.2 Stål

Stål används väldigt mycket för konstruktioner som stabiliseras enligt fackverksprincipen, både som pelare, balkar och stag. Som pelare används vanligen olika rör- och H-profiler eftersom de har god motståndskraft mot knäckning. Beroende på bland annat spännvidden och lasten används olika profiler för balkar. Vanliga balkprofiler är I- och H-balkar, svetsade tvärsnitt för speciella ändamål samt fackverksbalkar, som i Finland vanligen tillverkas av rörprofiler. (Isaksson, et al., 2010, s. 117–119) Olika profiler används som stag beroende på om staget skall uppta tryck- eller dragkrafter. Tryckta stag behöver god motståndskraft mot knäckning liksom pelare och görs därför vanligen av rör eller H-profiler. Dragta stag kan också göras av samma profiler, men eftersom stålet tål dragkrafter bra så kan ett slankare tvärsnitt användas. Vanliga profiler som fungerar som dragstag är exempelvis rundstång, plattstång, T-stång, vinkelstång samt vajrar.

Stålkonstruktioner med ramverkan som stabiliserande princip är också vanligt. Ramverkan med fast inspända pelare kombineras ofta med fackverk i olika former. (Höglund, 2012 s. 1) Även med stål är det relativt enkelt att uppnå fast inspänning mellan konstruktionsdelarna, så därför passar ramverkan bra också för konstruktioner av stål.

Skivor enbart tillverkade i massivt stål existerar egentligen inte i byggnadsverk. Däremot används profilerad plåt i takkonstruktioner, väggar och bjälklag som stabiliserande element. För att plåten ska kunna räknas som stabiliserande bör den vara ordentligt infäst i bärverket. Detta kan man åstadkomma med hjälp av exempelvis tätt placerade skruvar eller genom svetsning ifall bärverket består av stål. Profilerad plåt som stabiliserande element i väggar ska användas med försiktighet. Ifall byggnaden är planerad att byggas ut kanske några väggar tas bort och byggnadens stabilitet minskar. (Höglund, 2012, s. 2–3)

Stål kan dock förekomma i samverkanskonstruktioner i olika former. Samverkansbjälklag med en speciell stålplåt presenterades i samband med kapitlet om betong. Andra typer av samverkanskonstruktioner är stålregelväggar och principen för konstruktionen är samma som för en träregelvägg. Konstruktionen består av plåtreglar som bekläs med skivor vilka tillsammans medverkar till den totala böjstyvheten. (Gyproc Handbok 8, 2010, s. 477)

Fördelen med att använda stål som stabiliserande material är att det är ett väldigt starkt och förhållandevis lätt material, samt att slanka konstruktioner med långa spännvidder enkelt kan uppnås. Stålet är dock ganska dyrt och motståndskraften mot brand är inte dess starka sida. Motståndskraften kan förbättras till exempel genom inklädning med gips, målning med brandskyddsfärg, fylla en rörprofil med betong eller genom att öka på godstjockleken. Konstruktivt byggande kan också vara ett alternativ, som innebär exempelvis att den bärande stommen byggs på utsidan av byggnadens mantel, vilket har både sina för och nackdelar. (Personlig kommunikation med Stubb och Widdas, 3.3.2016)

### 4.2.3 Trä

Stabilisering av konstruktioner med hjälp av trä kan också åstadkommas. Vanligt förekommande system är exempelvis ramar, bågar, fackverk, snedbrädning och skivor i olika former. Ramar och bågar, vanligen två- eller treledssystem, tillverkas ofta av limträ och är stabila i dess egna plan, men vinkelrätt mot planet behöver de stagas exempelvis med hjälp av fackverk eller skivverkan både i tak och i väggar. Fackverk som dragna stag görs vanligen av stål, men tryckta stag kan tillverkas av trä och då normalt av limträ. (Carling, 2001, s. 130...)

Skivverkan kan åstadkommas på olika sätt. En vanligt förekommande typ är en samverkanskonstruktion av träreglar som bekläs med skivor som kan bestå av gipsskivor, spånskivor, plywood, OSB eller dylika. På motsvarande sätt kan också ett bjälklag tillverkas, dock med starkare bjälkar av exempelvis limträ eller faner och tjockare skivor. (Gyproc Handbok 8, 2010, s. 477)

CLT är en annan typ av skiva som blir allt vanligare i Finland, vilken kan användas som stabiliserande element i konstruktioner. CLT står för Cross Laminated Timber, alltså i princip korslimmat trä som normalt består av 3, 5, 7 eller 8 skikt av trälameller. Skivorna tillverkas och kapas till färdiga element i en fabrik för att sedan levereras till byggarbetsplatsen. (Stora Enso, 2013)

Fördelen med att använda trä som material vid stomstabilisering är att konstruktionerna vanligen blir lätta samt estetiska. Trä är dessutom en miljövänlig naturprodukt som är återvinningsbar. Materialet bör dock skyddas mot brand exempelvis med brandskyddsfärg, inklädning med gips eller genom att öka på tvärsnittets dimensioner. En annan nackdel är att momentstyva anslutningar kan bli komplicerade att utforma vid stora träkonstruktioner, på grund av träets elasticitet. (Personlig kommunikation med Stubb och Widdas, 3.3.2016)

## **5 RESULTAT**

I detta kapitel berättas det om resultatet av examensarbetet. Resultatet är en beräkningsapplikation med tillhörande manual samt stabiliseringsprinciper för byggnader. Ett beräkningsexempel från den ena applikationen, samt den tillhörande manualen finns som bilaga 2 respektive bilaga 3 i detta arbete, för att förtydliga resultatet.

### **5.1 Beräkningsapplikation**

Den största delen av examensarbetet har varit att uppgöra applikationer för beräkning av vindlaster. Tanken är att användarna, alltså beställaren av arbetet, endast behöver fylla i information om byggnaden såsom byggnadens mått i olika riktningar, taklutning, vindriktning samt information om byggnadens omgivning. Användarna behöver på så sätt inte veta hur programvaran fungerar eller hur tillämpningen är uppbyggd, utan man skall klara av att beräkna vindlasten med hjälp av applikationen och den tillhörande manualen. Applikationen beräknar sedan vindlasten för olika zoner som tryck eller sug, samt som en resultant med den totala vindlasten, både horisontellt och vertikalt. Programmet som har använts är Mathcad 15, som är ett tekniskt beräkningsprogram, och applikationen är uppgjord enligt handboken RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat som baserar sig på Eurokoden. Till applikationen hör även en manual, vilken är avsedd att användas som ett hjälpmedel när tillämpningen används. Manualen innehåller klipp av figurer ur RIL-handboken, ur Eurokoden och ur den svenska Eurokodhandboken samt en hel del förklarande text som förtydligar användandet. Även klipp från applikationerna finns med i manualen så att man lättare ska kunna förstå vad och var man ska fylla i data. Detta examensarbete kan också fungera som ett hjälpsamt dokument för att få en klarare bild av hur vindlaster skall beräknas enligt Eurokod.

### **5.2 Stabiliseringsprinciper av byggnader**

Stabilisering av konstruktioner tangerar ämnet vindlaster på grund av att de största horisontallasterna som påförs ett bärverk i Finland består av laster orsakade av vind. För att få en överblick av vilka huvudprinciper som finns och hur diverse material kan fungera som stabiliserande element har jag skrivit om olika stabiliseringsprinciper för byggnader. För denna undersökning har inga skilda föreskrifter uppgjorts, utan beställaren får studera detta dokument.

## 6 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION

Syftet med detta examensarbete var att effektivisera arbetet vid beräkning av vindlaster på byggnader. Därtill hörde även att analysera olika stabiliseringsprinciper för konstruktioner samt hur olika material kan fungera som stabiliserande element, eftersom detta tangerar ämnet.

Beräkning av vindlaster kräver att man ur olika tabeller tar data som vanligtvis behöver interpoleras för att få ett mera exakt resultat. Mathcad är en mycket kraftfull programvara som bland annat kan programmeras så att den automatiskt väljer korrekta värden ur tabeller och är på så sätt användbar för ändamålet. I programmet Microsoft Excel finns dylika funktioner, så denna programvara skulle ha kunnat vara ett alternativ. Beställaren ansåg att man i Mathcad enklare kan följa med beräkningarna och kontrollera att rätta formler och värden har använts, så valet av programvara blev på så sätt enkel. Vi har i skolan även fått grundläggande kunskaper i Mathcad, så programmet var till viss del bekant från tidigare. Eurokoderna har vi använt i mindre utsträckning i skolan och under den företagsförlagda utbildningen användes RIL-handböckerna för att utföra i princip all dimensionering, så dessa var på så sätt inte helt obekanta.

### 6.1 Utmaningar

De mest krävande utmaningarna har varit att uppgöra applikationen och få den att räkna rätt. Eftersom jag inte har programmerat tidigare så har jag lagt mycket tid på att lära mig detta för att få en användbar applikation. Andra utmanande saker har varit att få grepp om hur vindlaster påverkar byggnader trots att relativt bra litteratur finns om ämnet. Med tanke på stabiliseringsdelen finns det ganska mycket litteratur i form av sekundärkällor och läroböcker, vilka inte anses vara bra källor i ett examensarbete, men primärkällorna som man egentligen borde använda sig av har varit svåra att få tag i. Fjärrlån kunde ha varit ett alternativ för att få tag i bättre källor, men på grund av att jag inte har beviljats stipendium för examensarbetet i skrivande stund, så har denna satsning lämnats bort.

### 6.2 Vidareutveckling av applikationen

Applikationen kan ännu utvecklas. Eftersom jag har analyserat stabiliseringsprinciper kunde man ännu integrera någon form av stabilitetsberäkning i applikationen, förslagsvis hur mycket man behöver skruva skivorna i en regelvägg för att uppnå tillräcklig stabilitet.

Ett annat alternativ kunde vara att uppgöra en helt skild applikation för detta eftersom tillämpningen redan innehåller mycket information och data som gör den långsammare. Eventuellt kunde ett helt skilt examensarbete utformas för denna utveckling. Andra utvecklingsförslag är layouten på tillämpningen. I nuläget anser jag att applikationen inte ser så speciellt professionell ut, så detta kan även jobbas vidare på.

### **6.3 Rekommendationer**

Rekommendationerna är att användarna till en början beräknar vindlasterna för hand och använder applikationen mera som ett facit. Tillämpningen kan innehålla buggar, trots att den har visat samma resultat och blivit jämförd ett flertal gånger med andra program som utvecklats bland annat av SKOL (Suomen Konsulttöimistöjen Liitto), samt olika beräkningsexempel uppgjorda av Puuinfo och RIL. Efter en tids användning kan användarna förhoppningsvis använda endast applikationerna för beräkandet av vindlaster.

Att få fram vindlaster på en byggnad tar kanske mellan en och två timmar att beräkna för hand, beroende på byggnadens utformning samt hur rutinerad konstruktören är. Om man använder applikationen som har blivit uppgjord i och med detta examensarbete beräknas vindlasterna som verkar på en byggnad på ett par minuter. Man kan konstatera att målet med arbetet är uppfyllt, eftersom syftet var att effektivera beräkandet av vindlaster.

## 7 REFERENSER

### *Tryckta källor:*

*Boverkets handbok om snö- och vindlast, utgåva 2, 1997.* Boverket.

Carling O., 2001. *Limträhandboken*. Stockholm: Svenskt limträ.

EN 1990: 2002. *Eurocode: Basis of Structural Design*. European Committee for Standardization.

EN 1991-1-4: 2005. *Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Actions*. European Committee for Standardization.

*Eurokodhandboken – Allmänna grunder och laster, 2010.* Boverket.

*Gyproc Handbok 8, 2010.* Gyproc AB.

Höglund T., 2012. *Stabilisering genom skivverkan*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

Institution of Civil Engineers, 2012. *ICE Manual of Structural Design: Buildings*. ICE Publishing.

Isaksson T., Mårtensson A. & Thelandersson S., 2010. *Byggkonstruktion: Baserad på Eurokod*. Lund: Studentlitteratur.

*RIL 201-1-2011: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Stålbyggnadsinstitutet, 2008. *Stålbyggnad*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

### *Elektroniska källor:*

European Commission. (u.å.). [Online]. *About the EN Eurocodes*.

<http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/home.php>

[hämtat 2.2.2016]



Miljöministeriet. 2010. [Online]. *Miljöministeriets förordning om ändring av miljöministeriets förordning om tillämpning av Eurocode-standarder inom husbyggande.*

<http://www.ym.fi/fi-FI>

[hämtat 17.2.2016]

Miljöministeriet. 2013. [Online]. *Fakta om Eurokoder.*

<http://www.ym.fi/fi-FI>

[hämtat 2.2.2016]

*Stora Enso*. 2013. [Online]

<http://www.puuinfo.fi/>

[hämtat 17.2.2016]

*RIL*. (u.å.). [Online]

<http://www.ril.fi/>

[hämtat 7.2.2016]

# **BILAGOR**

Bilaga 1	Eurokodernas uppdelning
Bilaga 2	Beräkningsexempel på en byggnad med åstak
Bilaga 3	Manual för beräkningsapplikationen

## Eurokodernas uppdelning

**EN 1990 Eurocode Grundläggande dimensioneringsregler**  
2002**EN 1991 Eurocode 1 Laster på bärverk**

- 1 - 1: 2002 Allmänna laster - Densitet, egenvikter, nyttolaster för byggnader
- 1 - 2: 2002 Allmänna laster - Laster på bärverk utsatta för brand
- 1 - 3: 2003 Allmänna laster - Snölast
- 1 - 4: 2005 Allmänna laster - Vindlast
- 1 - 5: 2003 Allmänna laster - Temperaturpåverkan
- 1 - 6: 2005 Allmänna laster - Laster under byggskedet
- 1 - 7: 2006 Allmänna laster - Olyckslast
- 2: 2003 Trafiklaster på broar
- 3: 2006 Laster av kranar och maskiner
- 4: 2006 Silor och behållare

**EN 1992 Eurocode 2 Dimensionering av betongkonstruktioner**

- 1 - 1: 2004 Allmänna regler och regler för byggnader
- 1 - 2: 2004 Allmänna regler - Brandteknisk dimensionering
- 2: 2005 Betongbroar - Konstruktioner och regler
- 3: 2006 Behållare och avskiljande konstruktioner

**EN 1993 Eurocode 3 Dimensionering av stålkonstruktioner**

- 1 - 1: 2005 Allmänna regler och regler för byggnader
- 1 - 2: 2005 Allmänna laster - Brandteknisk dimensionering
- 1 - 3: 2006 Allmänna laster - Kompletterande regler för kallformade profiler och profilerad plåt
- 1 - 4: 2006 Allmänna laster - Kompletterande regler för rostfritt stål
- 1 - 5: 2006 Allmänna laster - Plåtbalkar
- 1 - 6: 2007 Skalkonstruktioner
- 1 - 7: 2007 Plana plåtkonstruktioner utsatta för transversallast
- 1 - 8: 2005 Dimensionering av knutpunkter och förband
- 1 - 9: 2005 Utmattning
- 1 - 10: 2005 Seghet och egenskaper i tjockleksriktningen
- 1 - 11: 2006 Dragbelastade komponenter
- 1 - 12: 2007 Allmänt - Höghållfaststål
- 2: 2006 Stålbroad
- 3 - 1: 2006 Torn, master och skorstenar - Torn och master
- 3 - 2: 2006 Torn, master och skorstenar - Skorstenar
- 4 - 1: 2007 Silor
- 4 - 2: 2007 Cisterner
- 4 - 3: 2007 Rörledningar
- 5: 2007 Pålar och spont
- 6: 2007 Kranbanor

**EN 1994 Eurocode 4 Dimensionering av samverkanskonstruktioner i stål och betong**

- 1 - 1: 2004 Allmänna regler och regler för byggnader
- 1 - 2: 2005 Allmänna laster - Brandteknisk dimensionering
- 2: 2005 Allmänna regler och regler för broar

**EN 1995 Eurocode 5 Dimensionering av träkonstruktioner**

- 1 - 1: 2004 Allmänt - Gemensamma regler och regler för byggnader
- 1 - 2: 2004 Allmänt - Brandteknisk dimensionering
- 2: 2004 Broar

**EN 1996 Eurocode 6 Dimensionering av murverkskonstruktioner**

- 1 - 1: 2005 Allmänna regler för armerade och oarmerade murverkskonstruktioner
- 1 - 2: 2005 Allmänna regler - Brandteknisk dimensionering
- 2: 2006 Dimensioneringsförutsättningar, val av material och utförande
- 3: 2006 Förenklade metoder för oarmerade murverk

**EN 1997 Eurocode 7 Dimensionering av geokonstruktioner**

- 1: 2004 Allmänna regler
- 2: 2007 Marktekniska undersökningar

**EN 1998 Eurocode 8 Dimensionering av konstruktioner med hänsyn till jordbävning**

- 1: 2004 Allmänna regler, seismisk påverkan och regler för byggnader
- 2: 2005 Broar
- 3: 2005 Tillståndsbedömning och förbättring av skadade byggnader
- 4: 2006 Silor, behållare och rörledningar
- 5: 2004 Grundkonstruktioner, stödkonstruktioner och geotekniska aspekter
- 6: 2005 Torn, master och skorstenar

**EN 1999 Eurocode 9 Dimensionering av aluminiumkonstruktioner**

- 1 - 1: 2007 Allmänna regler
- 1 - 2: 2007 Brandteknisk dimensionering
- 1 - 3: 2007 Konstruktioner känsliga för utmattning
- 1 - 4: 2007 Kallformad profilerad plåt
- 1 - 5: 2007 Skalkonstruktioner

## Beräkning av vindlaster enligt Eurokod RIL 201-1-2011 & EN 1991-1-4 2005

Projekt: Exempelprojekt  
 Handläggare: Johan Aspnäs  
 Datum: 27.4.2016

Orange fält ----> INPUT-värden

Gröna fält ----> OUTPUT-värden

Dubbelklicka på de gula linjerna nedan för att se funktioner.

### 1. Vindhastighetstryck

Börja med att fylla i information om byggnaden samt byggnadens läge. Vinkel 0° antas vara mot ena långsidan.

Klass :=	Höjd := 15m	Vindriktning :=
Terrängklass 0	Bredd := 20m	Vinkel = 0°
Terrängklass 1	Längd := 60m	Vinkel = 90°
Terrängklass 2	Vägg höjd := 12.4m	Vinkel = 180°
Terrängklass 3		Vinkel = 270°
Terrängklass 4		Vindriktning = 0

$$b := \begin{cases} \text{Längd} & \text{if } \text{Vindriktning} = 0 \vee \text{Vindriktning} = 180 \\ \text{Bredd} & \text{if } \text{Vindriktning} = 90 \vee \text{Vindriktning} = 270 \end{cases} = 60 \text{ m}$$

$$d := \begin{cases} \text{Bredd} & \text{if } \text{Vindriktning} = 0 \vee \text{Vindriktning} = 180 \\ \text{Längd} & \text{if } \text{Vindriktning} = 90 \vee \text{Vindriktning} = 270 \end{cases} = 20 \text{ m}$$

Höga, smala byggnader, där bredden är mindre än höjden, delas byggnaden upp i olika tryckzoner. Den övre delen av byggnaden kan utsättas för ett högre tryck än nedre delen.

$$\text{Tryckfördelning} := \begin{cases} 1 & \text{if } (\text{Höjd} \leq b) \\ 2 & \text{if } (b < \text{Höjd} \leq 2 \cdot b) \\ 3 & \text{if } (\text{Höjd} > 2 \cdot b) \end{cases} = 1$$

[RIL 201-1-2011 Kuva (7.4)]

▶ Liite A. [RIL 201-1-2011]

Vindhastighetstryck för nedre delen av byggnaden:

$$q_{p,1} = 0.72 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vindhastighetstryck för övre delen av byggnaden: (samma som ovan på en låg byggnad)

$$q_{p,2} = 0.72 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2. Vindlast

Vindlasterna  $F_{w,e}$  och  $F_{w,i}$  som verkar på olika bärverksdelar (eller zoner) kan bestämas enligt nedanstående formler:

Yttre vindlast: [RIL 201-1-2011 (5.5)]

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{\text{ytor}} W_e \cdot A_{\text{ref}}$$

$$c_s := 1.0$$

$$c_d := 1.0$$

$$W_e = C_{pe} \cdot q_p$$

Inre vindlast: [RIL 201-1-2011 (5.6)]

Över- eller undertryck fylls i ( $C_{pi}$ )

$$F_{w,i} = \sum_{\text{ytor}} W_i \cdot A_{\text{ref}}$$

$$C_{pi} := 0.2$$

$$W_i = C_{pi} \cdot q_p$$

Eventuell friktionslast bestäms sedan ur: [RIL 201-1-2011 (5.7)]

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p \cdot A_{fr}$$

Total vindlast fås ur: [RIL 201-1-2011 (5.9S)]

$$F_w = \gamma_e \cdot F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}$$

Partialkoefficient för vindlaster:

$$\gamma_q := 1.5$$

Höjden  $h$  varierar beroende på varifrån det blåser.

$$h := \begin{cases} z & \text{if Vindriktning} = 0 \vee \text{Vindriktning} = 180 \\ \text{Vägghöjd} & \text{if Vindriktning} = 90 \vee \text{Vindriktning} = 270 \end{cases} = 15 \text{ m}$$

$$e_{\text{värde.1}} := \min(b, 2 \cdot h) = 30 \text{ m}$$

[RIL 201-1-2011 Kuva (7.5)]

Kontroll:

$$h = 15 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ m}$$

$$b = 60 \text{ m}$$

$$e_{\text{värde.1}} = 30 \text{ m}$$

### 3. Vindlast på ytor

#### 3.1 Zonindelning av väggar:

▢ Zonindelning av väggar [RIL 201-1-2011 Kuva 7.5]

Zonindelning = "AB"

Zonbredd<sub>zon.A</sub> = 6 m

Zonbredd<sub>zon.D</sub> = 60 m

Zonbredd<sub>zon.B</sub> = 14 m

Zonbredd<sub>zon.E</sub> = 60 m

Zonbredd<sub>zon.C</sub> = 0 m

Areorna matas in manuellt:

Area<sub>A</sub> := 90

Area<sub>B</sub> := 210

Area<sub>C</sub> := 0

Area<sub>D</sub> := 750

Area<sub>E</sub> := 750

▢ C<sub>pe</sub> väggar

C<sub>pe.A</sub> = -1.20

C<sub>pe.B</sub> = -0.80

C<sub>pe.C</sub> = 0.00

C<sub>pe.D</sub> = 0.77

C<sub>pe.E</sub> = -0.43

#### Krafterna för olika väggzoner:

▢ We & Wi för väggarna

##### Väggzoner:

Tryck för den lägre delen av byggnaden:

$$W_{A.1} = -1.01 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{B.1} = -0.72 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{C.1} = 0.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{D.1} = 0.70 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{E.1} = -0.46 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tryck för den högre delen av byggnaden:

$$W_{A.2} = -1.01 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{B.2} = -0.72 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

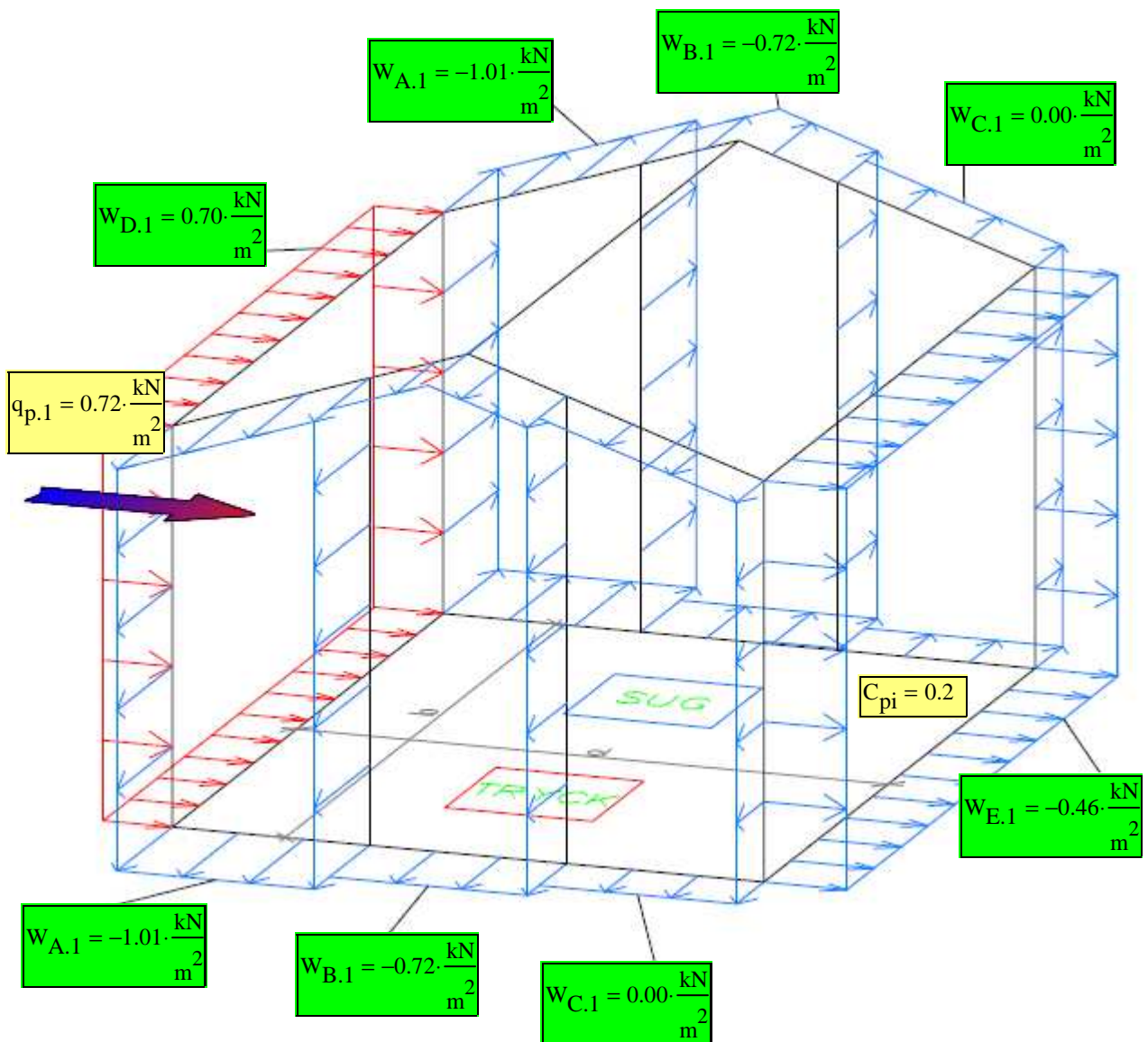
$$W_{C.2} = 0.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{D.2} = 0.70 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{E.2} = -0.46 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ifall Tryckfördelning = 1 blir  $W_{x.1}$  och  $W_{x.2}$  lika

Sammandrag av vindlaster på olika väggtyper:





### 3.2 Zonindelning av taket (åstak eller motfallstak):

$$\alpha := 10$$

$$\beta := 10$$

$$\text{Nock} := 7.5\text{m}$$

#### ▢ Zonindelning av taket

Lodrät projektion av takytorna (m<sup>2</sup>).

$$\text{Area}_F = 22.5$$

$$\text{Area}_G = 135$$

$$\text{Area}_H = 270$$

$$\text{Area}_I = 570$$

$$\text{Area}_J = 180$$

#### ▢ C.pe 1 taket

#### ▢ C.pe.2 taket

Om taklutningarna  $\alpha$  och  $\beta$  är olika så är  $C_{pe,X,1}$  formfaktorn som är beroende av vinkeln  $\alpha$ , och  $C_{pe,X,2}$  formfaktorn som är beroende av vinkeln  $\beta$ , ifall vindriktningen är 90° eller 270°:

$$C_{pe.F.1} = -1.30$$

$$C_{pe.G.1} = -1.00$$

$$C_{pe.H.1} = -0.45$$

$$C_{pe.I.1} = -0.50$$

$$C_{pe.J.1} = -0.40$$

$$C_{pe.F.2} = 0.10$$

$$C_{pe.G.2} = 0.10$$

$$C_{pe.H.2} = 0.10$$

$$C_{pe.I.2} = -0.30$$

$$C_{pe.J.2} = -0.30$$

### Max- och min-värden på krafterna för olika takzoner

#### ▢ We & Wi för taket

#### ▢ Fw (max and min) taket

#### Takzoner:

$$W_{F.\max} = -0.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{G.\max} = -0.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{H.\max} = -0.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{I.\max} = -0.36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{J.\max} = -0.36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{F.\min} = -1.08 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

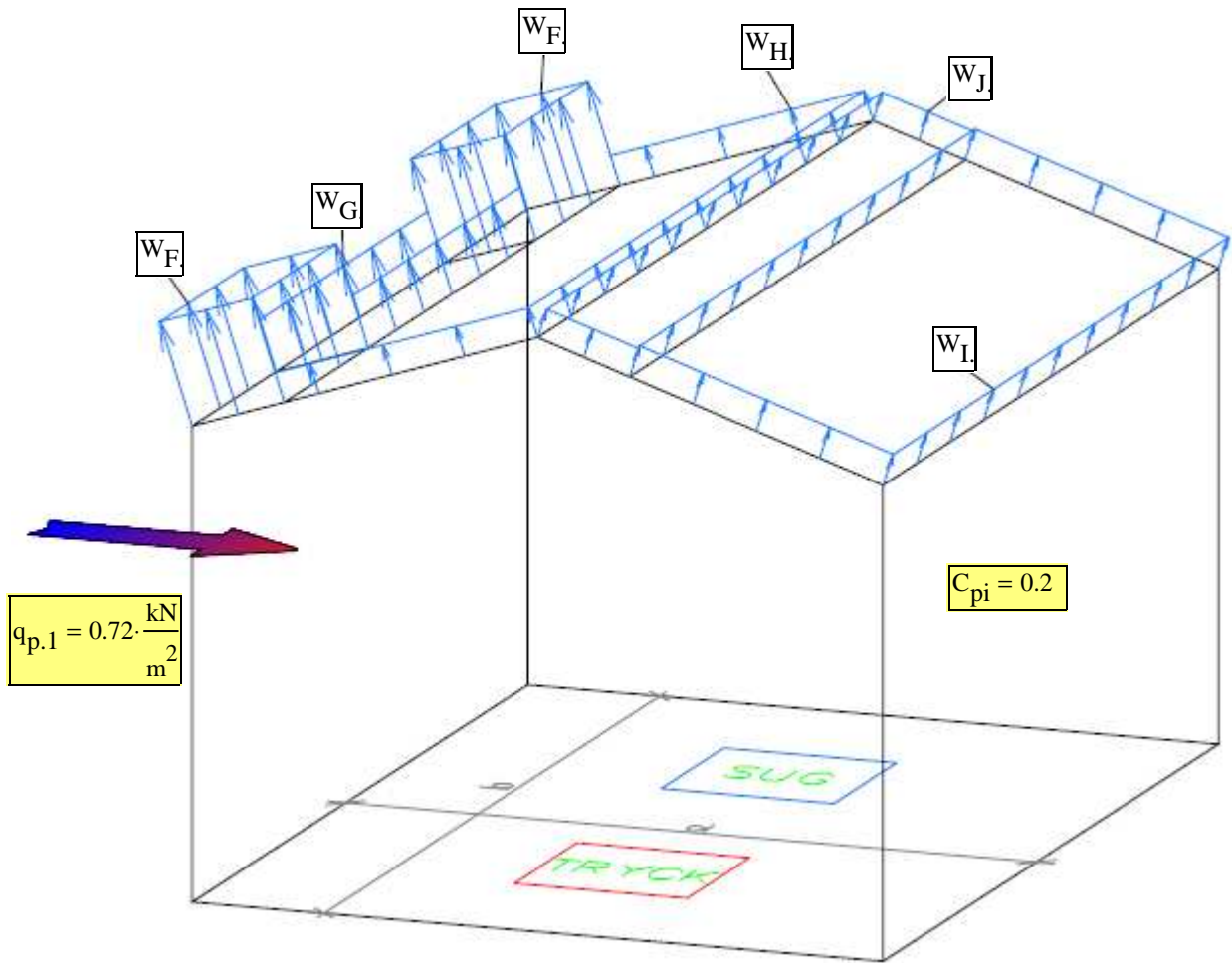
$$W_{G.\min} = -0.87 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{H.\min} = -0.47 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{I.\min} = -0.50 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{J.\min} = -0.43 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sammandrag av vindlaster på olika taktytor:



$W_{F,max} = -0.07 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G,max} = -0.07 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H,max} = -0.07 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{I,max} = -0.36 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{J,max} = -0.36 \cdot \frac{kN}{m^2}$
$W_{F,min} = -1.08 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G,min} = -0.87 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H,min} = -0.47 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{I,min} = -0.50 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{J,min} = -0.43 \cdot \frac{kN}{m^2}$

### 3.3 Friktion

Beräknar arean av friktionsområdet:

▢ Friktion

$$A_{fr} = 0 \text{ m}^2$$

Friktionskoefficient ur tab. 7.10 i RIL 201-1-2011:

Friktionskoefficient :=	Slät
	Ojämn
	Mycket ojämn

$$\text{Friktionskoefficient} = 0.01$$

▢ Friktion

Friktionslast bestäms ur RIL 201-1-2011 (5.7):

$$F_{fr} = 0.00 \cdot \text{kN}$$

#### 4. Total horisontell vindlast med summering av tryckfaktorer

▢ Function  $\gamma_e$

$$\gamma_e = 0.85$$

▢ Fw total

**Horisontella** krafter på olika zoner med säkerhetskoefficient::

$$F_{F,d} = -0.73 \cdot \text{kN} \quad F_{G,d} = -2.19 \cdot \text{kN} \quad F_{H,d} = -4.38 \cdot \text{kN} \quad F_{I,d} = -64.7 \cdot \text{kN} \quad F_{J,d} = -17.51 \cdot \text{kN}$$

Total karakteristisk **horisontell** vindlast:

$$F_{w,h,k} = 547.3 \cdot \text{kN}$$

Total **horisontell** vindlast med säkerhetskoefficient:

$$F_{w,h,d} = 895.9 \cdot \text{kN}$$

Total **vertikal** vindlast med säkerhetskoefficient:

$$F_{w,v,d} = -507.6 \cdot \text{kN}$$

**Horisontell** linjelast i nivå med ök-vägg med säkerhetskoefficient::

$$p_{\text{vind}} = 8.09 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2016-04-28

# Manual

Applikation för beräkning av  
vindlaster

Johan Aspnäs  
INGENJÖRSBYRÅ KRONQVIST

**Innehåll**

Inledning .....	1
1. Vindhastighetstryck.....	2
2. Vindlast.....	8
3. Vindlast på ytor .....	14
3.1 Zonindelning av väggar .....	14
3.2 Zonindelning av taket .....	18
3.2.1 Åstak eller motfallstak.....	18
3.2.2 Pulpettak.....	22
3.2.3 Plattak.....	25
3.3 Friktion .....	28
4. Total horisontell vindlast med summering av tryckfaktorer .....	30
Referenser.....	31

## Inledning

Denna manual är avsedd som ett hjälpmedel för användningen av applikationen ”Beräkning av vindlaster enligt Eurokod”. Själva applikationen är uppgjord i beräkningsprogrammet Mathcad 15. Det har blivit uppgjort tre olika applikationer vilka är beroende på vilken taktyp byggnaden har. Originalfilerna har fått namnen Application – Åstak, – Pulpettak och – Plattak och namnen beskriver på så sätt innehållet. Applikationen är uppgjord enligt Ingenjörbyrå Kronqvists direktiv, vilka också har fungerat som uppdragsgivare till Johan Aspnäs ingenjörarbete.

Det finns olika metoder för modellering av vindlaster. Applikationen baserar sig på RIL 201-1-2011 och vindlastsberäkning för olika zoner har använts. Manualen har även samma kapitelindelning som applikationen för att underlätta användningen.

Innan man öppnar applikationen är det viktigt att känna att man endast ska fylla i information/siffror i de rutor som är orangefärgade. Andra viktiga saker är att fylla i till vilket projekt beräkningen hör, vem som är handläggare som datum för beräkningen.

## Beräkning av vindlaster enligt Eurokod RIL 201-1-2011 & EN 1991-1-4 2005

Projekt: Exempelprojekt  
Handläggare: Johan Aspnäs  
Datum: 22.3.2016

Orange fält ----> INPUT-värden

Gröna fält ----> OUTPUT-värden

*Dubbelklicka på de gula linjerna nedan för att se funktioner.*

### 1. Vindhastighetstryck

#### 1. Byggnadens geometri och omgivning

Vid beräkning av vindlaster måste man känna till byggnadens geometri. Man börjar med att bestämma terrängklass och byggnadens mått. **Höjd** är byggnadens totala höjd, **Bredd** och **Längd** är byggnadens bredd och längd samt **Vägghöjd** är byggnadens höjd vid väggbandet.

### 1. Vindhastighetstryck

Börja med att fylla i information om byggnaden samt byggnadens läge. Vinkel 0° antas vara mot ena långsidan.

Klass :=

- Terrängklass 0
- Terrängklass 1
- Terrängklass 2
- Terrängklass 3
- Terrängklass 4

Höjd := 6m

Bredd := 10m

Längd := 22m

Vägghöjd := 4.6m

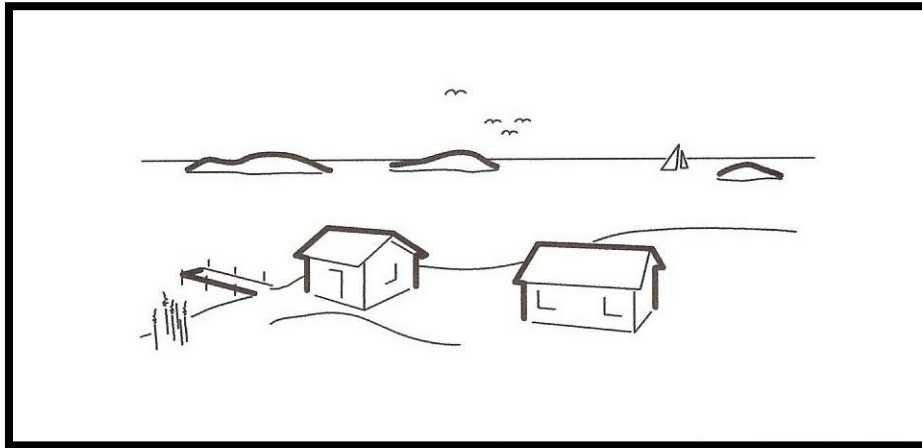
Vindriktning :=

- Vinkel = 0°
- Vinkel = 90°
- Vinkel = 180°
- Vinkel = 270°

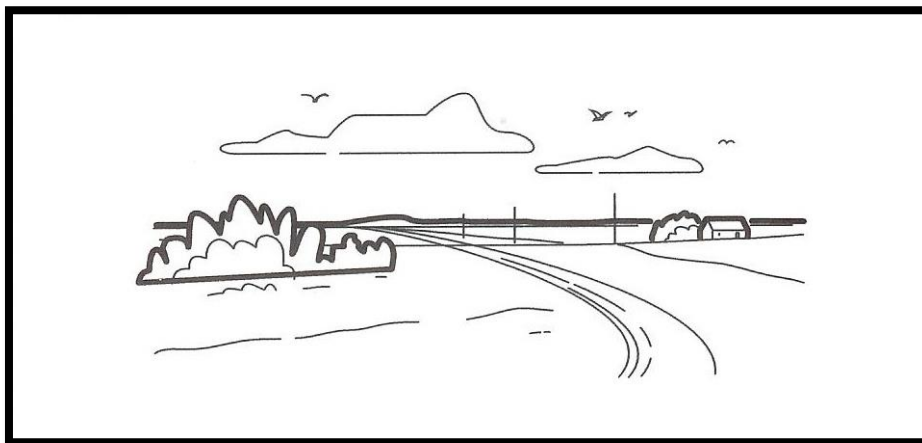
Vindriktning = 0



Nedan finns bilder och beskrivningar av de olika terrängtyperna.



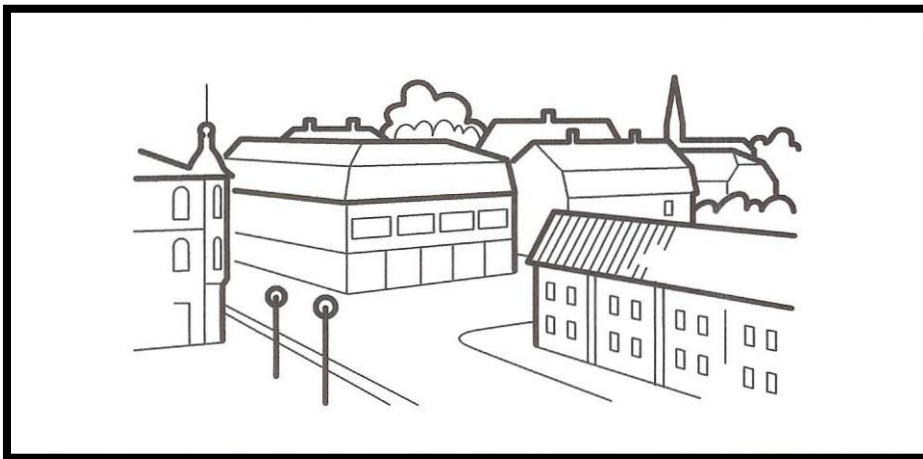
**Figur 1 Terrängtyp 0.** Havs- eller kustområde exponerat för öppet hav.



**Figur 2 Terrängtyp 1.** Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder.



**Figur 3 Terrängtyp 2.** Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder såsom träd och byggnader med minsta inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd.



**Figur 4 Terrängtyp 3.** Område med täckt vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd som t.ex. byar, förorter eller skogsmark.



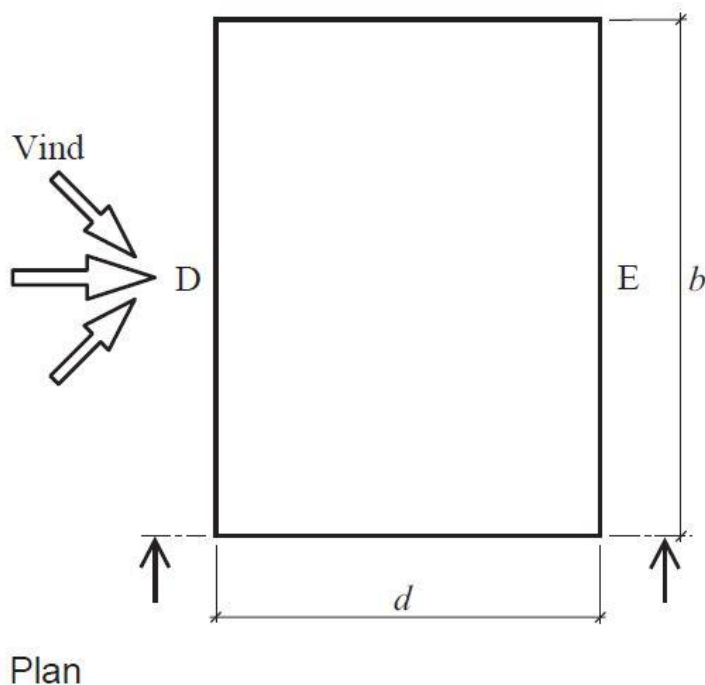
**Figur 5 Terrängtyp 4.** Område där minst 15 % av arean är bebyggd och där byggnadernas medelhöjd är > 15 m.

## 2. Vindriktning

När man har bestämt byggnadens geometri och omgivning väljer man vindriktningen ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ).

Vinkel  $0^\circ$  eller  $180^\circ$  antas vara mot ena långsidan, liksom i figur 6, som är "grundfallet".

Vinkel  $90^\circ$  eller  $270^\circ$  antas vara mot ena gaveln.



**Figur 6** På bilden ovan antas vindens grundriktning vara mot ena långsidan. Byggnadens mått  $b$  och  $d$  ändras när vinden blåser mot gaveln, som också ändrar automatiskt i applikationen. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.11]

### 3. Tryckfördelning

När man beräknar vindlaster för en hög och smal byggnad kan man direkt använda byggnadens totala höjd för att få det karakteristiska vindhastighetstrycket, vilket ger ett högt värde. Byggnaden kan också delas in i olika strimlor enligt figur 7, för att få noggrannare värden på det karakteristiska vindhastighetstrycket. Ifall byggnaden delas in enligt figur 7 fås ett mindre värde på byggnadens nedre del, vilket kommer ge ett mera ekonomiskt svar, men kommer också att leda till mera komplicerade beräkningar. Applikationen beräknar två olika hastighetstryck. Dessa blir lika ifall höjden är mindre än bredden och olika i annat fall.

Höga, smala byggnader, där bredden är mindre än höjden, delas byggnaden upp i olika tryckzoner. Den övre delen av byggnaden kan utsättas för ett högre tryck än nedre delen.

$$\text{Tryckfördelning} := \begin{cases} 1 & \text{if (Höjd} \leq b) & = 1 \\ 2 & \text{if (} b < \text{Höjd} \leq 2 \cdot b) \\ 3 & \text{if (Höjd} > 2 \cdot b) \end{cases} \quad [\text{RIL 201-1-2011 Kuva (7.4)}]$$

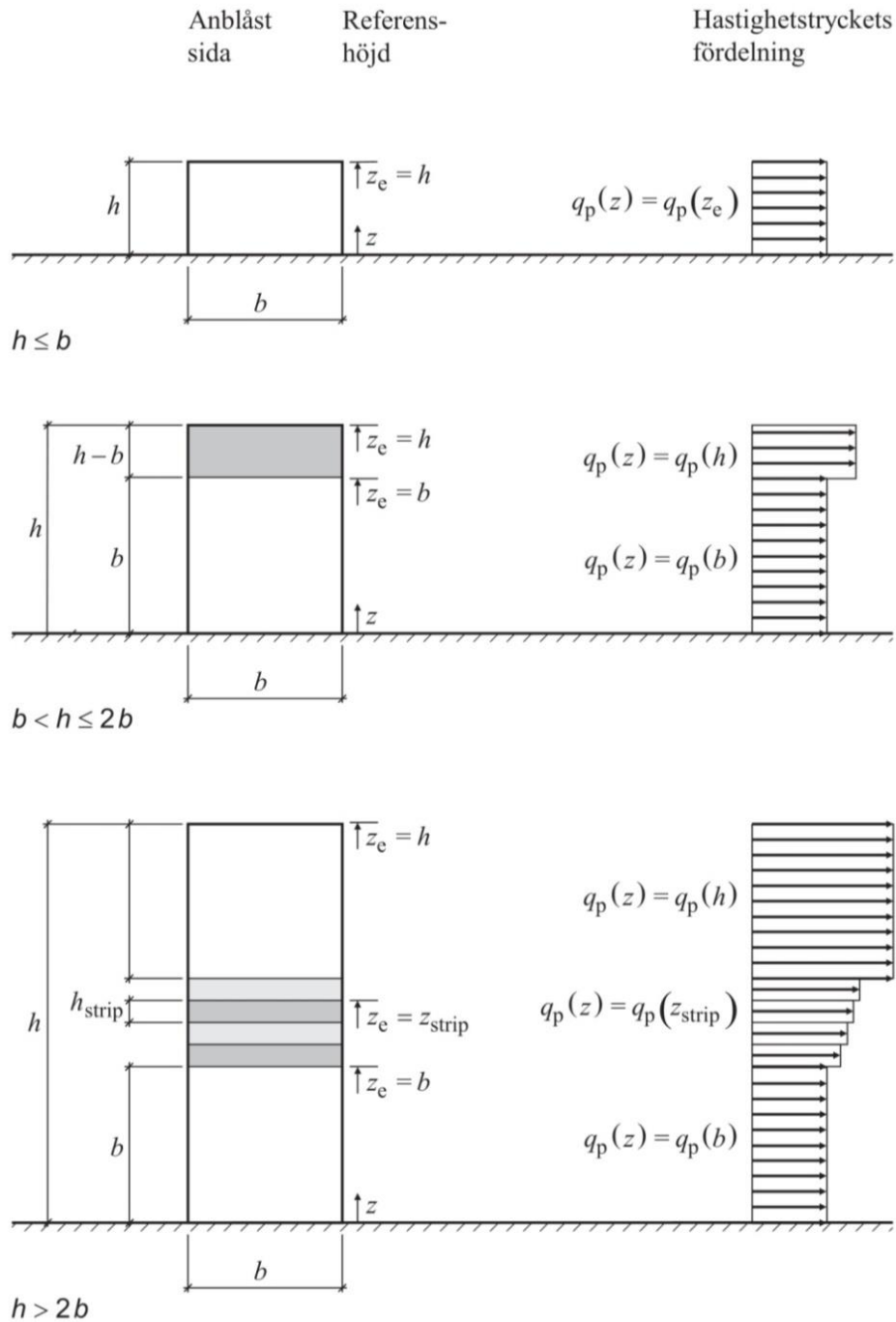
▶ Liite A. [RIL 201-1-2011]

Vindhastighetstryck för nedre delen av byggnaden:

$$q_{p,1} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vindhastighetstryck för övre delen av byggnaden: (samma som ovan på en låg byggnad)

$$q_{p,2} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



**Figur 7** Samband mellan  $z_e$ ,  $h$ ,  $b$  och hastighetstryck. Hastighetstrycket bör antas jämnt fördelat över varje horisontell strimla. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.10]

## 2. Vindlast

Det som behöver fyllas i under punkt två är bärverksfaktorerna, formfaktorn för inre vindlast samt partialkoefficienten för vindlast. Bärverksfaktorerna kan sättas till 1,0 i normala fall men kan också beräknas enligt figurerna 9 och 10. Den inre vindlasten kan sättas till +0,2 och -0,3 ifall inga större utredningar anses vara nödvändiga. Mera angående inre vindlast kan man läsa om i examensarbetet *Beräkning av vindlaster på byggnader och bärverk enligt Eurokod*. Partialkoefficienten sätts till 1,5 enligt Eurokod.

Vindlasterna  $F_{w,e}$  och  $F_{w,i}$  som verkar på olika bärverksdelar, eller zoner, kan bestämmas med nedanstående formler och används också i applikationen:

**Yttre vindlast:** [RIL 201-1-2011 (5.5)]

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{ytor} W_e \cdot A_{ref}$$

där,

$F_{w,e}$  är den resulterande yttre vindkraften i kN.

$c_s$   $c_d$  är bärverksfaktorer som tar hänsyn till att vindlasten påverkas av att karakteristiskt hastighetstryck ( $q_p$ ) inte uppträder samtidigt över en större yta ( $c_s$ ), och att den även påverkas av bärverkets svängningar på grund av turbulens ( $c_d$ ).  $c_s$  och  $c_d$  sätts till 1,0 i normala fall (kan även beräknas men kräver komplicerade uträkningar). Ifall ett noggrannare värde på bärverksfaktorerna önskas kan man använda sig av Kuva 5.3S i RIL 201-1-2011 eller figur D.1 och D.2 i EN 1991-1-4.

$W_e$  är den utvändiga vindlasten i kN.

$A_{ref}$  är den yta som vinden verkar på i m<sup>2</sup>.

$$W_e = C_{pe} \cdot q_p$$

där,

$C_{pe}$  är en formfaktor för vindlasten på byggnadens utsida som tar i beaktande byggnadens form. Den varierar också beroende på zonens area. Ifall zonens area är under 10 m<sup>2</sup> interpolerar programmet enligt en logaritmisk skala som syns i figur 11.

$q_p$  är det karakteristiska vindhastighetstrycket som är beroende av terrängens beskaffenhet enligt tidigare beräkningar och anges som ett tryck kN/m<sup>2</sup>.

**Inre vindlast:** [RIL 201-1-2011 (5.6)]

$$F_{w,i} = \sum_{ytor} W_i \cdot A_{ref}$$

där,

$F_{w,i}$  är den resulterande inre vindkraften i kN.

$W_i$  är den invändiga vindlasten i kN.

$A_{ref}$  är den yta som vinden verkar på i m<sup>2</sup>.

$$W_i = C_{pi} \cdot q_p$$

där,

$C_{pi}$  är en formfaktor för vindlasten på byggnadens insida som tar i beaktande hur stora hål och öppningar det finns i mantelytan. Värdena på  $C_{pi}$ -faktorerna kan ges +0,2 (övertryck inne) och -0,3 (undertryck inne) om inga mera omfattande utredningar görs. Dessa är de mest ogynnsamma värdena.

$q_p$  är det karakteristiska vindhastighetstrycket som är beroende av terrängens beskaffenhet enligt tidigare beräkningar och anges som ett tryck kN/m<sup>2</sup>.

Applikationen är uppgjord på så vis att dessa formler är kombinerade då den beräknar vindlasten för de olika ytorna.

Ifall vindlast beräknas på en lång och smal byggnad påverkas den även av en friktionslast som hjälper till att få byggnaden att stjälpas.

**Friktionslast:** [RIL 201-1-2011 (5.7)]

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p \cdot A_{fr}$$

där,

$F_{fr}$  är den resulterande friktionskraften i kN.

$c_{fr}$  är friktionskoefficienten enligt Tabell 1.

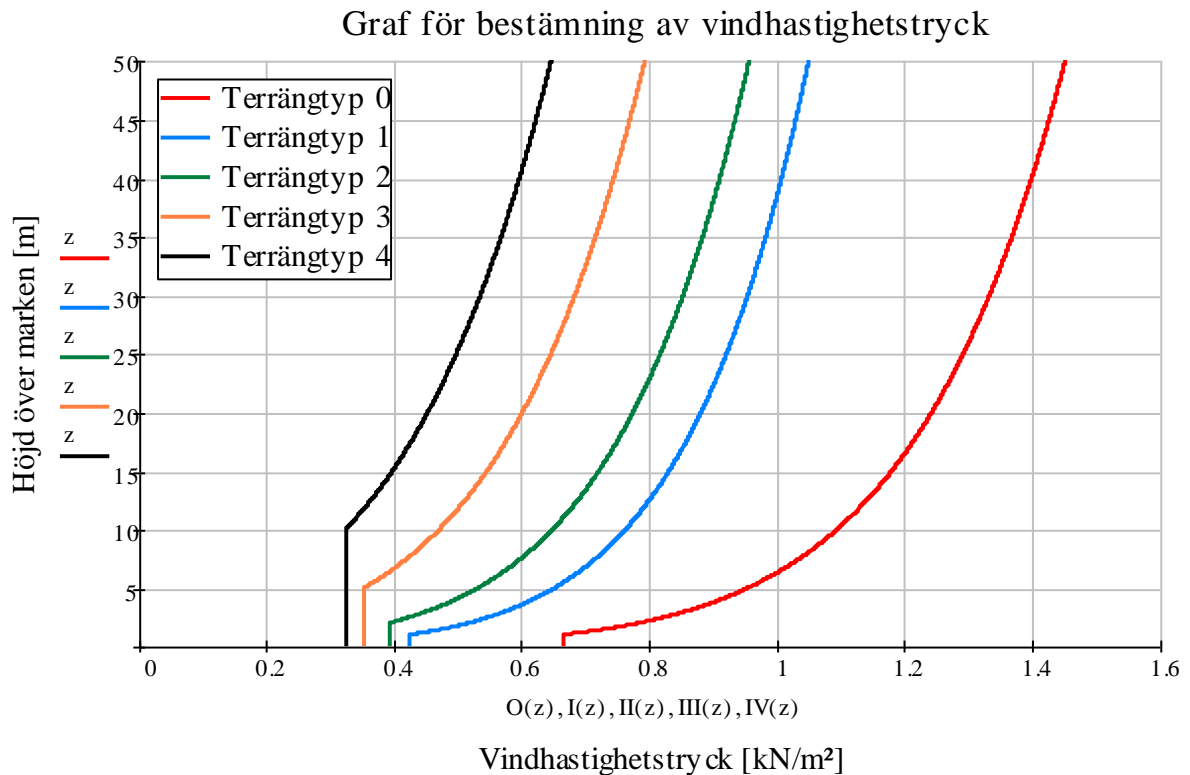
$q_p$  är det karakteristiska vindhastighetstrycket som är beroende av terrängens beskaffenhet enligt tidigare beräkningar och anges som ett tryck kN/m<sup>2</sup>.

$A_{fr}$  är arean för yttre ytor parallella med vinden i m<sup>2</sup>.

Den totala vindlasten fås slutligen.

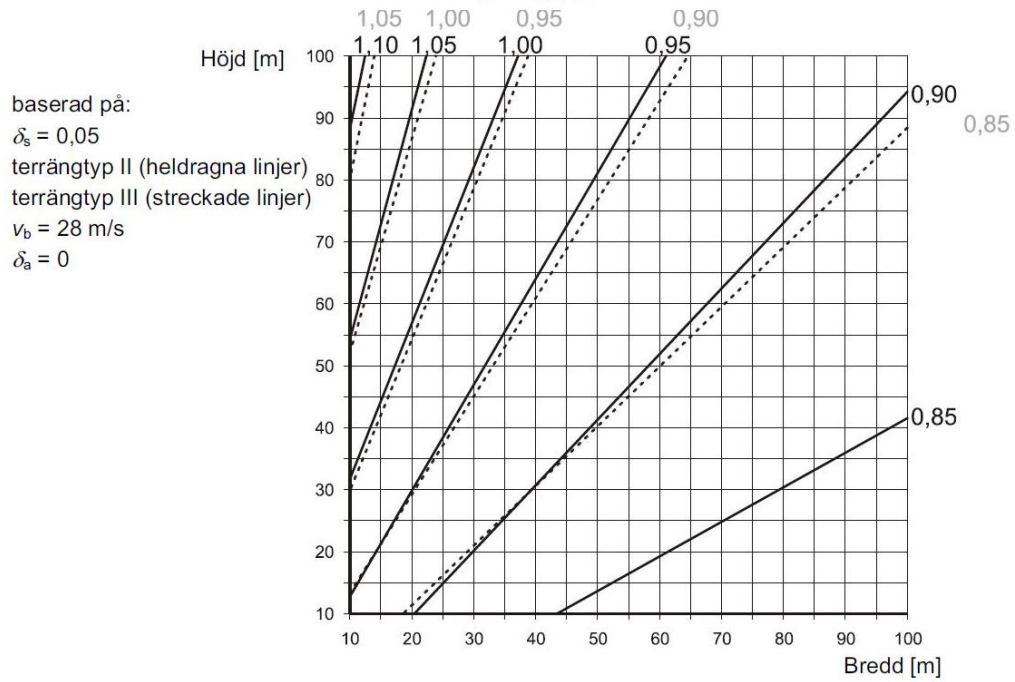
**Total vindlast:** [RIL 201-1-2011 (5.9S)]

$$F_w = \gamma_e \cdot F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}$$

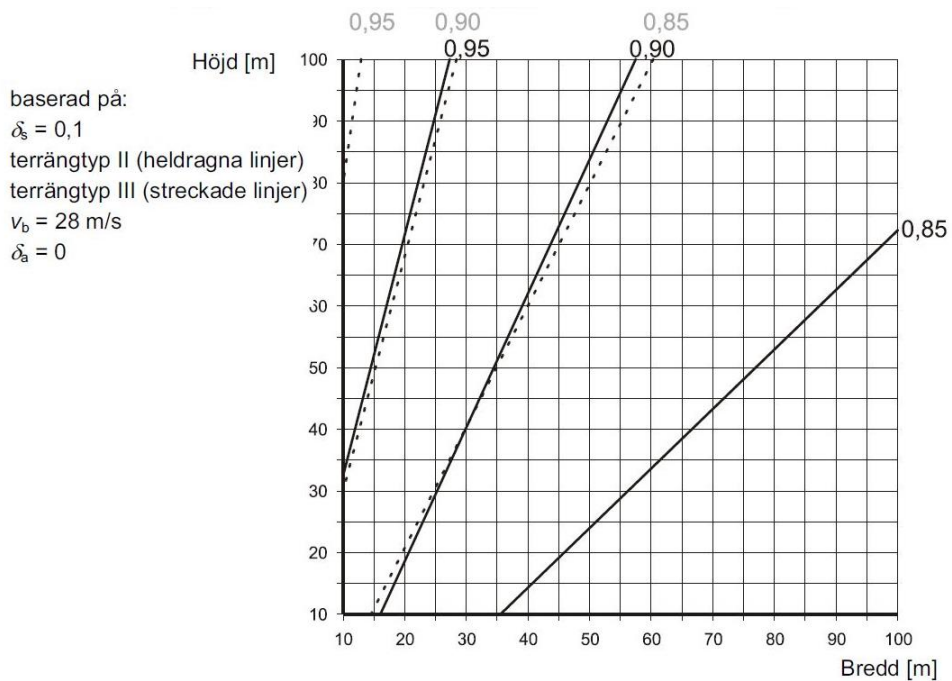


**Figur 8** Figuren visar det karakteristiska vindhastighetstrycket som är beroende av terrängklassen. Detta tryck beräknas automatiskt i applikationen när man har angivit byggnadens höjd samt terrängklass. [RIL 205-1-2011: Kuva 4.5S]

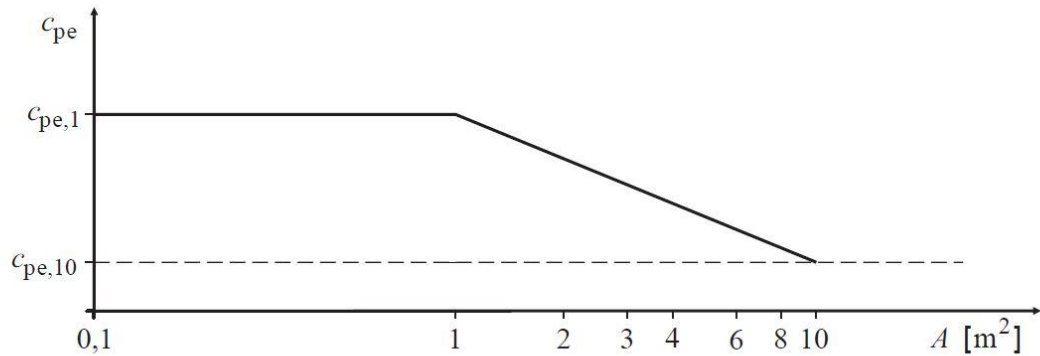




**Figur 9**  $c_s$   $c_d$  för flervåningsbyggnader av stål. Det minsta tillåtna värdet på bärverksfaktorn är 0,85 och för större värden än 1,1 kan den noggrannare metoden enligt Eurokoden användas. [EN 1991-1-4: fig. D.1]



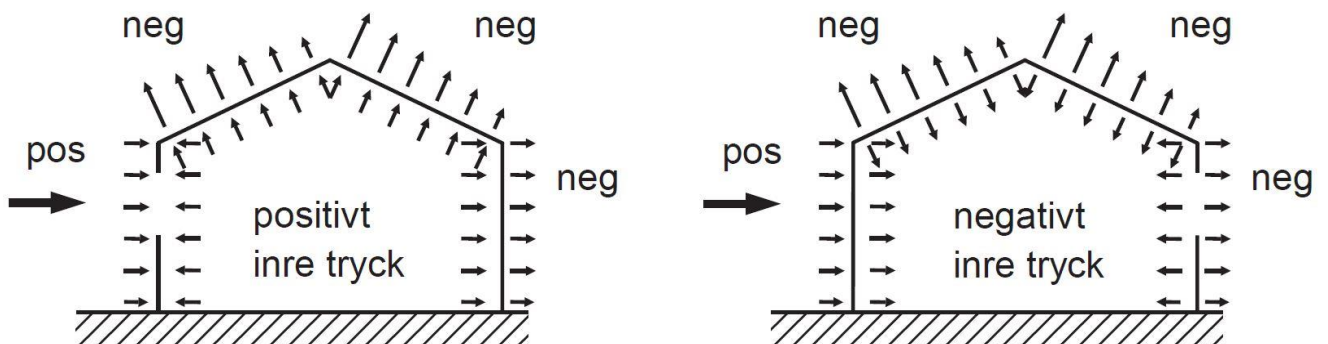
**Figur 10**  $c_s$   $c_d$  för flervåningsbyggnader av betong eller trä. Det minsta tillåtna värdet på bärverksfaktorn är 0,85 och för större värden än 1,1 kan den noggrannare metoden enligt Eurokoden användas. [EN 1991-1-4: fig. D.2]



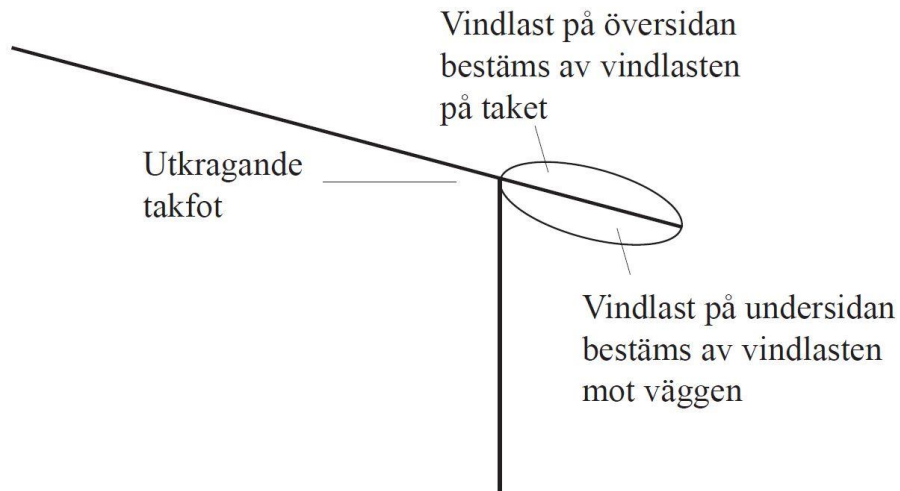
Figuren är baserad på följande villkor och uttryck:

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

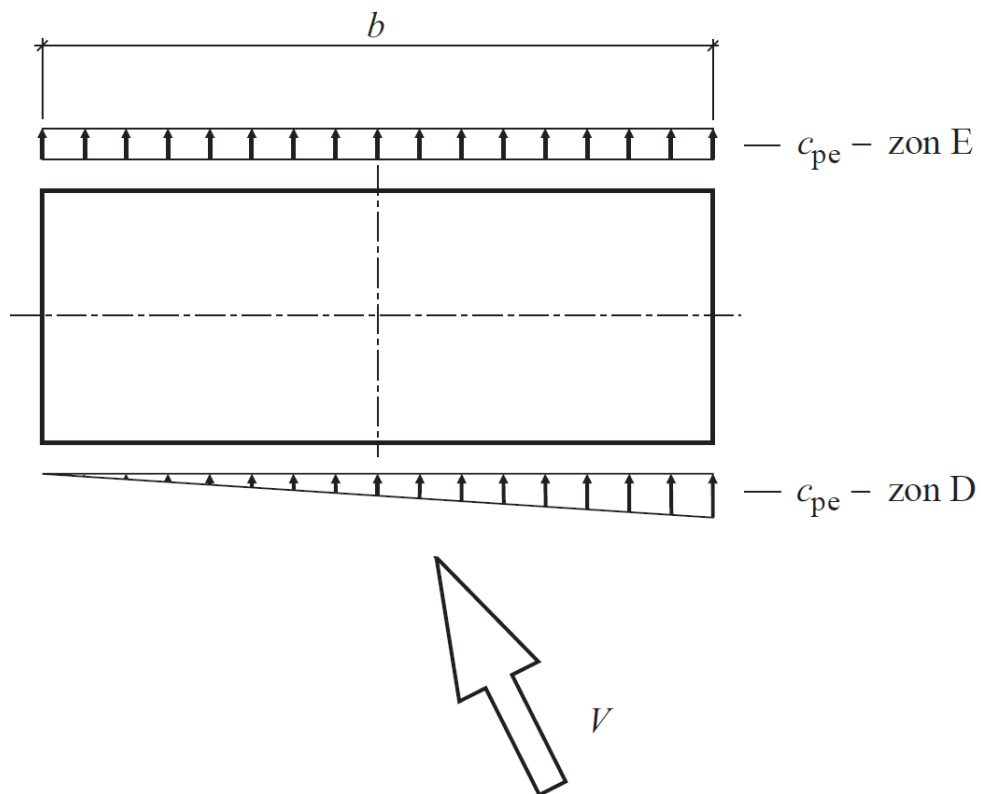
**Figur 11** Ifall zonens area är under 10 m<sup>2</sup> interpolerar programmet enligt figuren som har en logaritmisk skala. [EN 1991-1-4: fig. 7.2]



**Figur 12** Vindlast på ytor. Nettovindlasten på en vägg, ett tak eller en bärverksdel är skillnaden mellan trycken mot ytorna på båda sidor med hänsyn tagen till tecken. Tryck riktat mot ytan räknas som positivt och sug som är riktat från ytan räknas som negativt. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 5.1]



**Figur 13** Vindlast för en utkragande takfot bestäms enligt figuren. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.9]



**Figur 14** Lastfördelningen för beaktande av vridningseffekten. Applikationen räknar med att vinden blåser vinkelrätt mot ytan, som är det mest ogynnsamma fallet. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.7]

### 3. Vindlast på ytor

Vid beräkning av vindlast som verkar på olika ytor, bärverksdelar eller zoner krävs omfattande beräkningar, till skillnad från ifall man beräknar vindlaster med hjälp av en kraftvektor.

Man börjar med att beräkna formfaktorerna ( $C_{pe}$ ) för de olika zonerna, både för väggarna och för taket. Byggnaden delas in i olika zoner vars storlekar och antal varierar beroende på byggnadens mått. Bredden  $b$  är vinkelrätt mot vindriktningen. Höjden  $h$  varierar också beroende på om det blåser från gaveln eller från långsidan.  $h = z$  när det blåser vinkelrätt mot långsidan och  $h =$  vägghöjden när det blåser mot gaveln. Applikationen beaktar detta.

#### 3.1 Zonindelning av väggar

Applikationen börjar med att beräkna hur många zoner som byggnaden ska delas in i samt vilken bredd dessa har. Bredden för de olika zonerna har beräknats för att underlätta uppritandet t.ex. i lämpligt CAD-program. Vid beräkning av bredden för de olika zonerna är "e-värdet" genomgående och är det minsta av  $b$  och  $2h$ .

Arean för de olika väggzonerna matas in (utan enhet). Dessa beräknas manuellt för att få applikationen användbar på flera olika former av byggnader.

### 3. Vindlast på ytor

#### 3.1 Zonindelning av väggar:

► Zonindelning av väggar [RIL 201-1-2011 Kuva 7.5]

Zonindelning = "AB"

Zonbredd<sub>zon.A</sub> = 2.4 m      Zonbredd<sub>zon.D</sub> = 22 m

Zonbredd<sub>zon.B</sub> = 7.6 m      Zonbredd<sub>zon.E</sub> = 22 m

Zonbredd<sub>zon.C</sub> = 0 m

Areorna matas in manuellt:

Area<sub>A</sub> := 12      Area<sub>B</sub> := 40      Area<sub>C</sub> := 0      Area<sub>D</sub> := 100      Area<sub>E</sub> := 100

► C<sub>pe</sub> väggar

C<sub>pe.A</sub> = -1.20      C<sub>pe.B</sub> = -0.80      C<sub>pe.C</sub> = 0.00      C<sub>pe.D</sub> = 0.75      C<sub>pe.E</sub> = -0.39

Formfaktorerna ( $C_{pe}$ ) för de olika zonerna interpoleras mellan tabellvärden och beräknas automatiskt. (Dubbelklicka på de gula linjerna för att se hur formfaktorerna har beräknats). Ifall arean för någon zon är under  $10 \text{ m}^2$  interpolerar programmet enligt en logaritmisk skala. (se figur 11)

Krafterna som verkar på de olika zonerna ( $W_x$ ) beräknas också automatiskt, liksom formfaktorerna, och anges som ett tryck eller sug (minustecken framför) ( $\text{kN/m}^2$ ).

Två olika värden beräknas. På höga smala byggnader kan man räkna med ett mindre hastighetstryck på byggnadens nedre del, som visas tydligare i figur 7. Ifall byggnaden är låg och bred kommer dessa värden att bli lika stora.

**Krafterna för olika väggzoner:**

► We & Wi för väggarna

**Väggzoner:**

Tryck för den lägre delen av byggnaden:

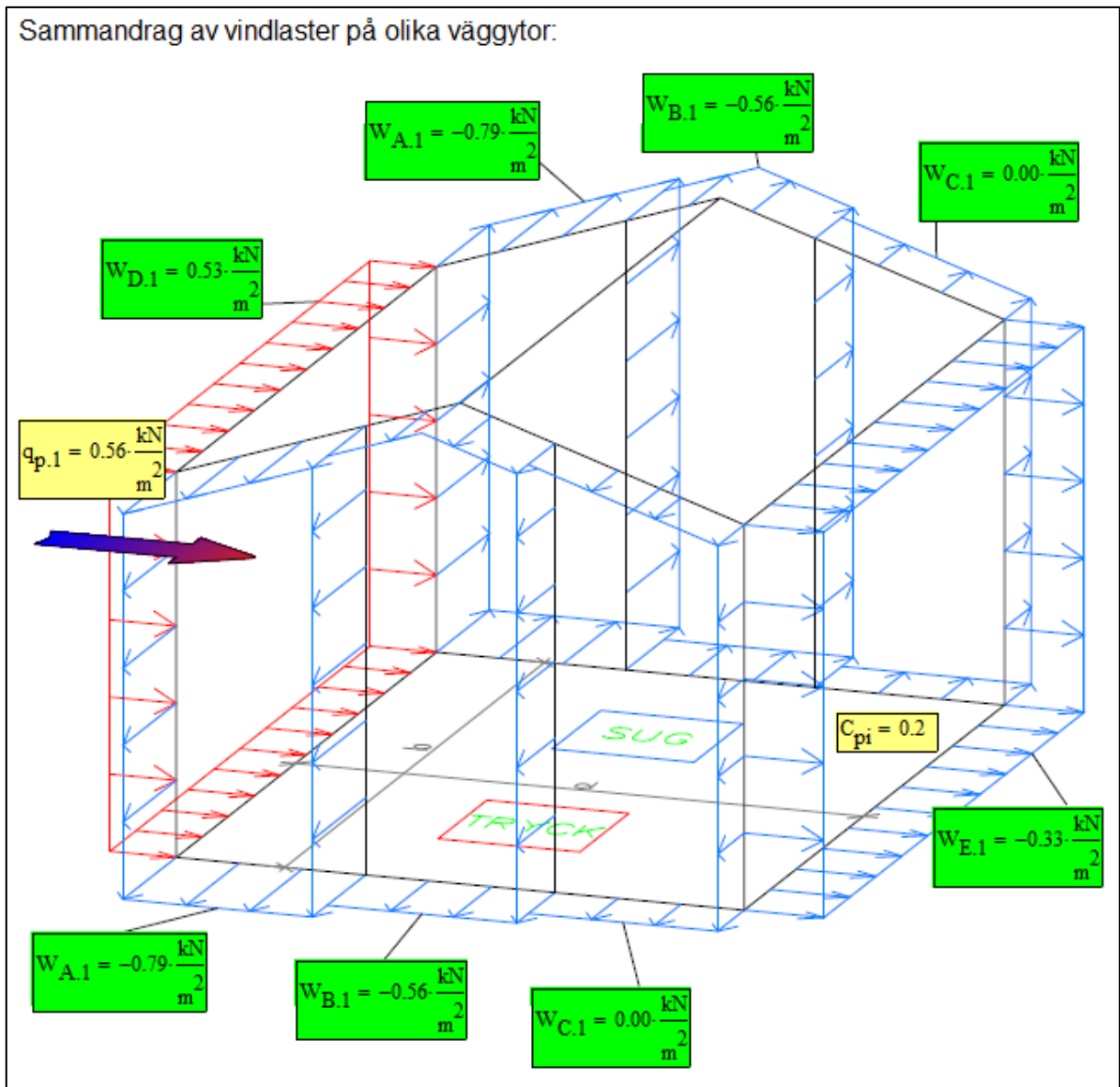
$W_{A.1} = -0.79 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{B.1} = -0.56 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{C.1} = 0.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{D.1} = 0.53 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{E.1} = -0.33 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
--	--	---	---	--

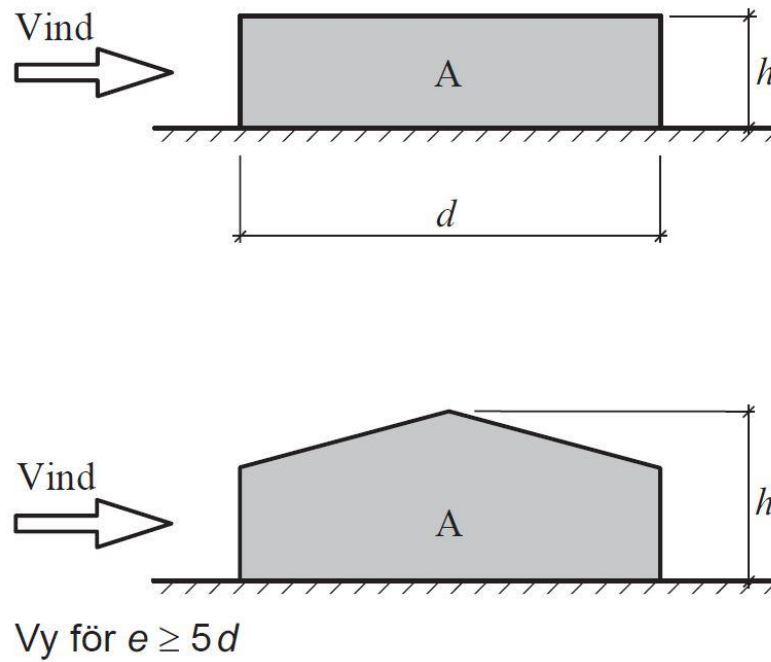
Tryck för den högre delen av byggnaden:

$W_{A.2} = -0.79 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{B.2} = -0.56 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{C.2} = 0.00 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{D.2} = 0.53 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$W_{E.2} = -0.33 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
--	--	---	---	--

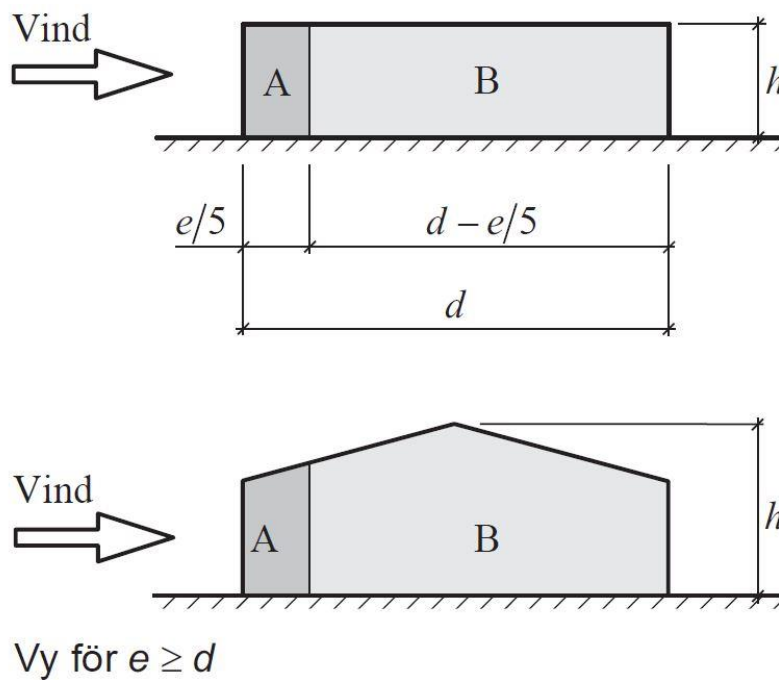
Ifall Tryckfördelning = 1 blir  $W_{x.1}$  och  $W_{x.2}$  lika

Ett sammandrag i form av en figur visas också i applikationen.

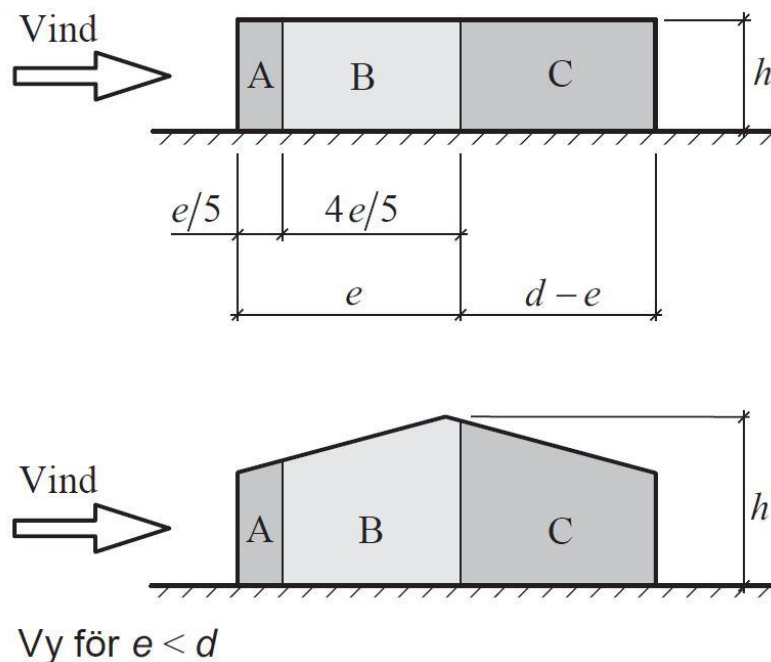




**Figur 15** Zonindelning och beteckningar för lodräta väggar. Vy för  $e > 5d$ . [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.11]



**Figur 16** Zonindelning och beteckningar för lodräta väggar. Vy för  $e > d$ . [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.11]



**Figur 17** Zonindelning och beteckningar för lodräta väggar. Vy för  $e < d$ . [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.11]

## 3.2 Zonindelning av taket

### 3.2.1 Åstak eller motfallstak

Vid beräkning av formfaktorer för åstak eller motfallstak matas taklutningen ( $\alpha$  och  $\beta$ ) in i grader (utan *\*deg*). Lutningarna kan inte ges som vinkel 0 (plana tak eller pulpettak).  $\alpha$  är taklutningen mot den sida därifrån det blåser (vinkel  $0^\circ$ ). Om lutningen är lika på båda sidorna matas samma värde in på  $\alpha$  och  $\beta$ .

Avståndet från zon D (därifrån det blåser) tillnocken anges i meter (*Nock*). Denna sträcka behövs för att programmet ska kunna beräkna areorna på takzonerna fastännocken inte är på mitten av huset.



**3.2 Zonindelning av taket (åstak eller motfallstak):**

$\alpha := 15^\circ$        $\beta := 15^\circ$

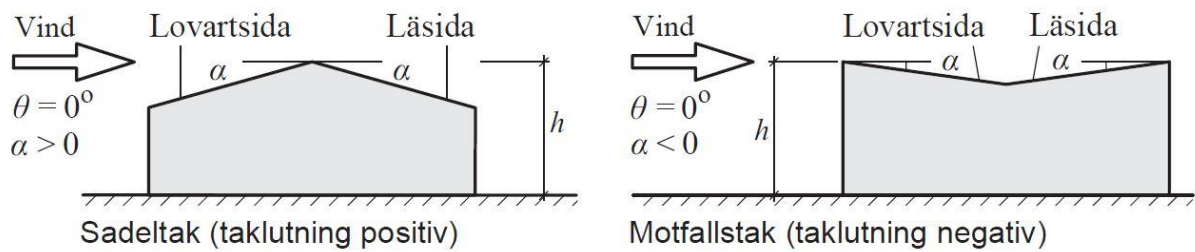
Nock := 5m

---

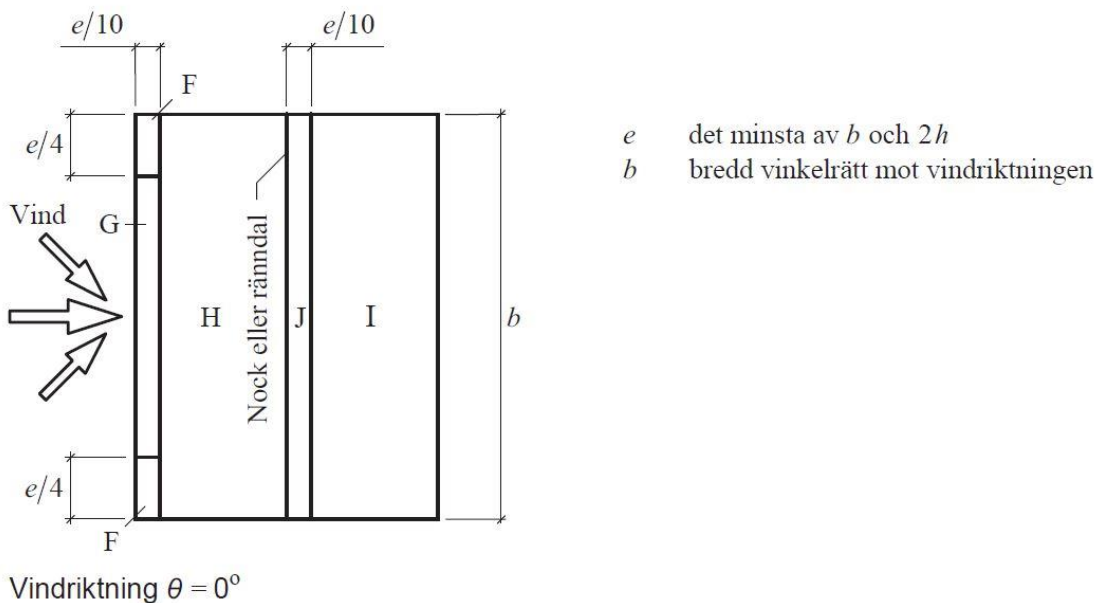
Zonindelning av taket

Lodrät projektion av takytorna (m<sup>2</sup>).

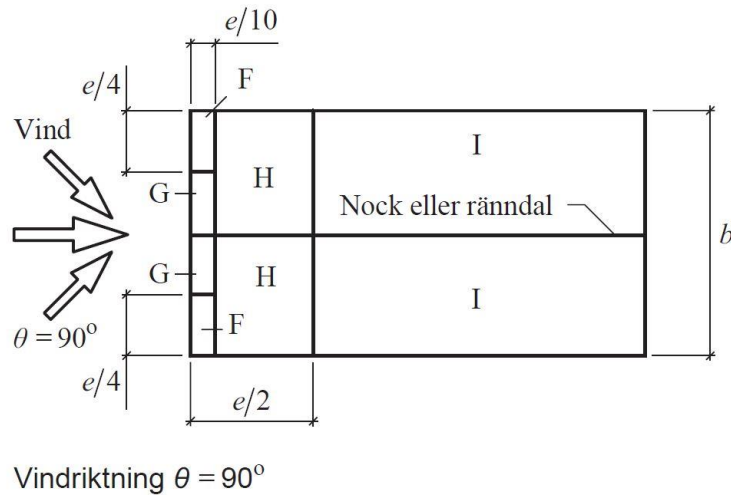
Area<sub>F</sub> = 3.6      Area<sub>G</sub> = 19.2      Area<sub>H</sub> = 83.6      Area<sub>I</sub> = 83.6      Area<sub>J</sub> = 26.4



**Figur 18**      Figuren visar att taklutningen ges som positiv på sadeltak eller åstak och ges som negativ på motfallstak. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.14]



**Figur 19**      Zonindelning och beteckningar för sadel- och motfallstak vid vindriktning  $\vartheta = 0^\circ$ .  $e$ -värdet är det samma som tidigare. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.14]



**Figur 20** Zonindelning och beteckningar för sadel- och motfallstak vid vindriktning  $\vartheta = 90^\circ$ .  
[Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.14]

För sadel- och motfallstak bör flera fall beaktas. Vindlasten ändras snabbt mellan positiva och negativa värden vid vindriktningen  $\theta = 0^\circ$  och taklutning  $-5^\circ < \alpha, \beta < +45^\circ$ . Därför anges två värden,  $C_{pe,x,1}$  och  $C_{pe,x,2}$  i applikationen.

Om taklutningarna  $\alpha$  och  $\beta$  är olika så är  $C_{pe,x,1}$  formfaktor som är beroende av vinkeln  $\alpha$ , och  $C_{pe,x,2}$  formfaktor som är beroende av vinkeln  $\beta$ , ifall vindriktningen är  $90^\circ$  eller  $270^\circ$ .

$C_{pe,F,1} = -1.39$	$C_{pe,G,1} = -0.80$	$C_{pe,H,1} = -0.30$	$C_{pe,I,1} = -0.40$	$C_{pe,J,1} = -1.00$
$C_{pe,F,2} = 0.20$	$C_{pe,G,2} = 0.20$	$C_{pe,H,2} = 0.20$	$C_{pe,I,2} = 0.00$	$C_{pe,J,2} = 0.00$

Krafterna som verkar på de olika zonerna ( $W_{x,max}$  och  $W_{x,min}$ ) beräknas också här automatiskt, liksom för väggarna, och anges som ett tryck eller sug (minustecken framför) ( $kN/m^2$ ). Applikationen väljer själv max- och min-värden för de olika zonerna.

**Max- och min-värden på krafterna för olika takzoner**

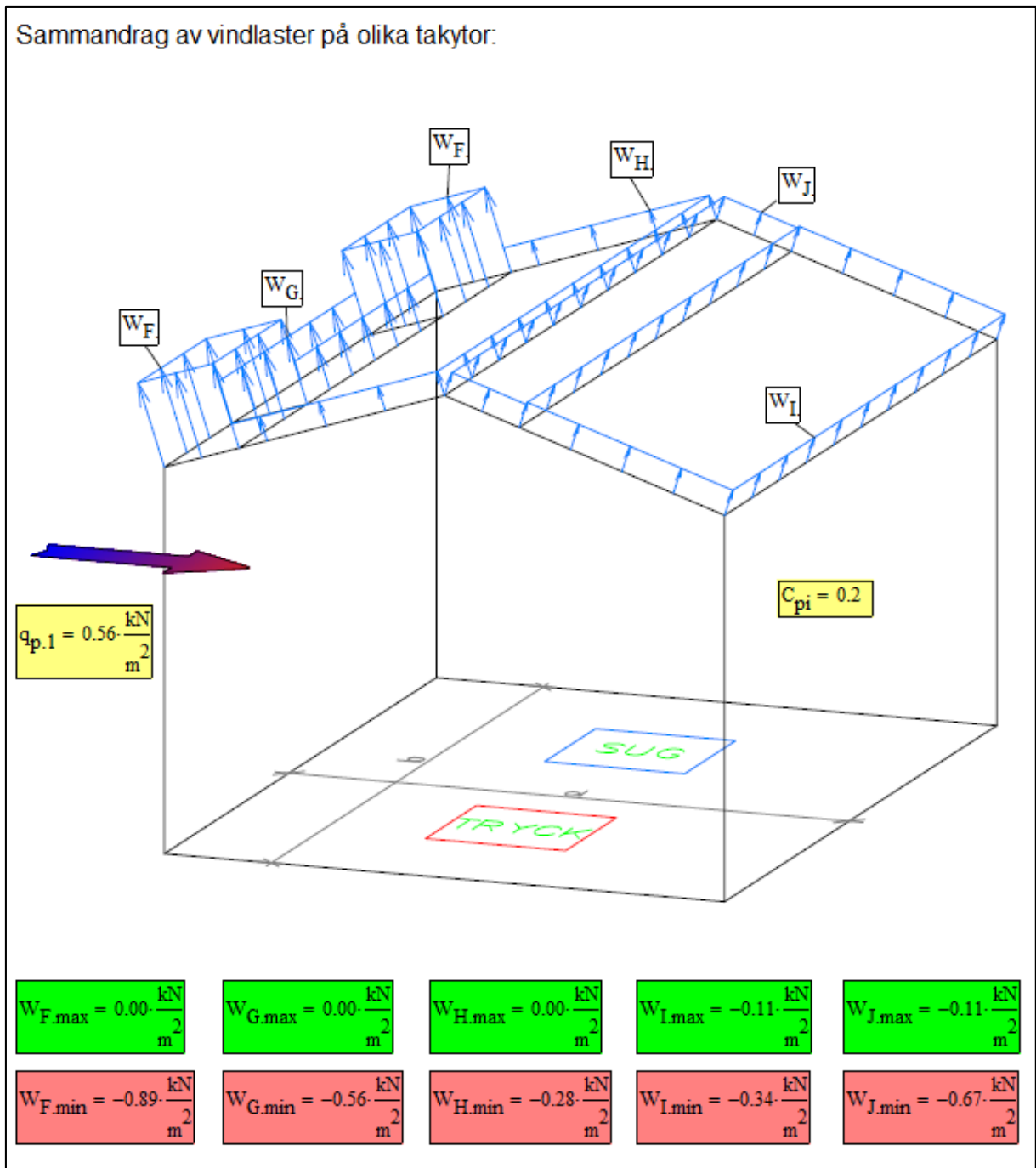
► We & Wi för taket

► Fw (max and min) taket

**Takzoner:**

$W_{F,max} = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G,max} = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H,max} = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{I,max} = -0.11 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{J,max} = -0.11 \cdot \frac{kN}{m^2}$
$W_{F,min} = -0.89 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G,min} = -0.56 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H,min} = -0.28 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{I,min} = -0.34 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{J,min} = -0.67 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Ett sammandrag i form av en figur visas också för åstak.



### 3.2.2 Pulpettak

Det enda som egentligen behöver bestämmas i applikationen för beräkning av pulpettakets tryckfaktorer är takets lutning i förhållande till horisontalplanet.

**3.2 Zonindelning av taket (pulpettak):**

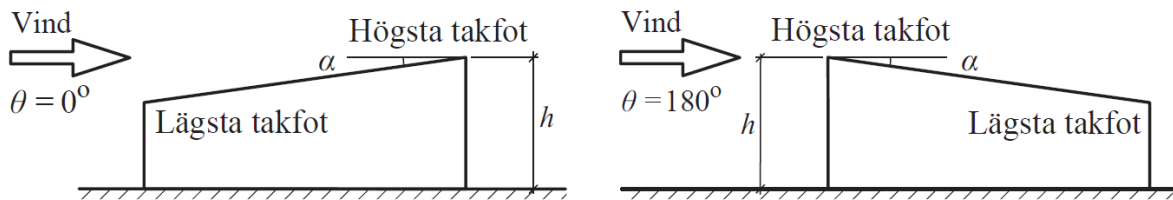
$\alpha := 10$

---

Zonindelning av taket

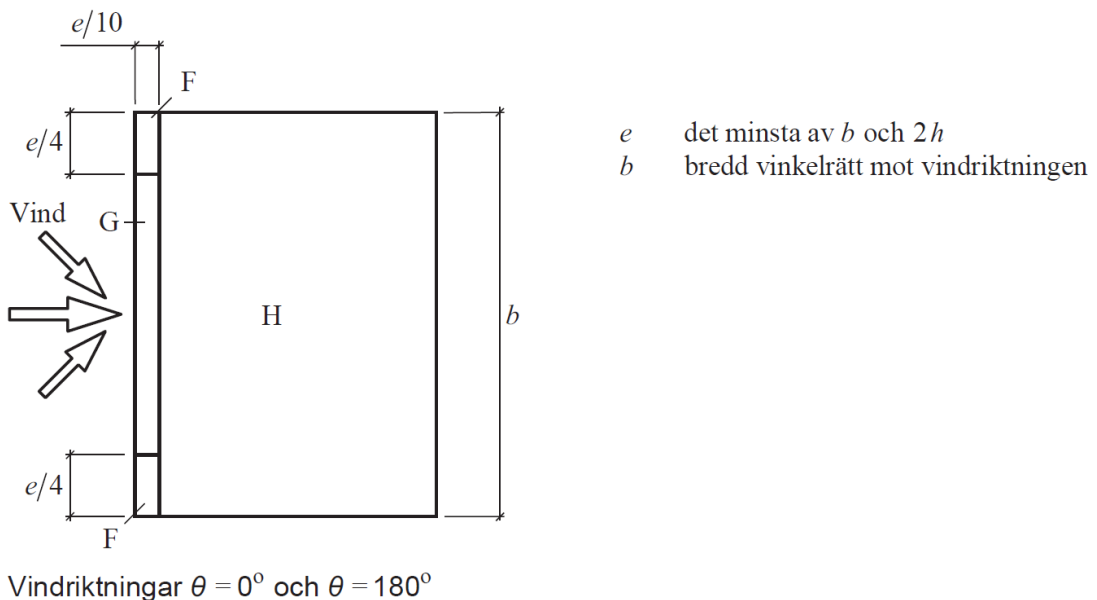
Lodrät projektion av takytorna (m<sup>2</sup>).

Area<sub>F</sub> = 1.6      Area<sub>G</sub> = 3.2      Area<sub>H</sub> = 41.6      Area<sub>I</sub> = 0

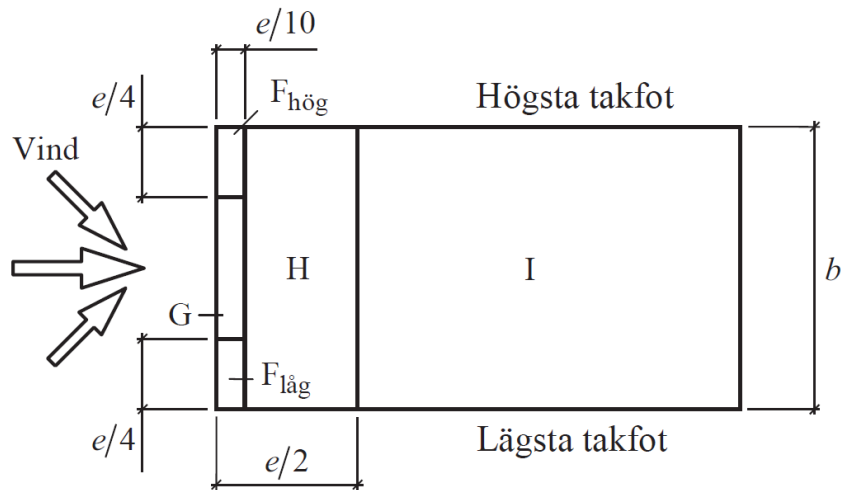


Allmänt

**Figur 21** Figuren visar att vinkeln  $\alpha$  skall anges i förhållande till horisontalplanet. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.14]



**Figur 22** Zonindelning och beteckningar för pulpettak vid vindriktning  $\vartheta = 0^\circ$ .  $e$ -värdet är det samma som tidigare. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.13]



Vindriktning  $\theta = 90^\circ$

**Figur 23** Zonindelning och beteckningar för pulpettak vid vindriktning  $\vartheta = 90^\circ$ . I figuren syns också att man gör skillnad på hög och låg på zonen F. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.13]

Vindlasten ändrar snabbt mellan positiva och negativa värden vid vindriktningen  $\theta = 0^\circ$  och taklutning  $-5^\circ < \alpha < +45^\circ$ . Därför anges två värden. När det blåser från gaveln, vindriktningen  $\theta = 90^\circ$ , bildas olika hårda sugkrafter på F-zonerna. Därför anges både  $F_{hög}$  och  $F_{låg}$  i applikationen, som blir noll med vindriktningen  $\theta = 0^\circ$ .

$C_{pe.F.1} = -2.06$	$C_{pe.F.1.hög} = 0.00$	$C_{pe.G.1} = -1.37$	$C_{pe.H.1} = -0.45$	$C_{pe.I.1} = 0.00$
$C_{pe.F.2} = 0.10$	$C_{pe.F.1.låg} = 0.00$	$C_{pe.G.2} = 0.10$	$C_{pe.H.2} = 0.10$	

**Max- och min-värden på krafterna för olika takzoner**

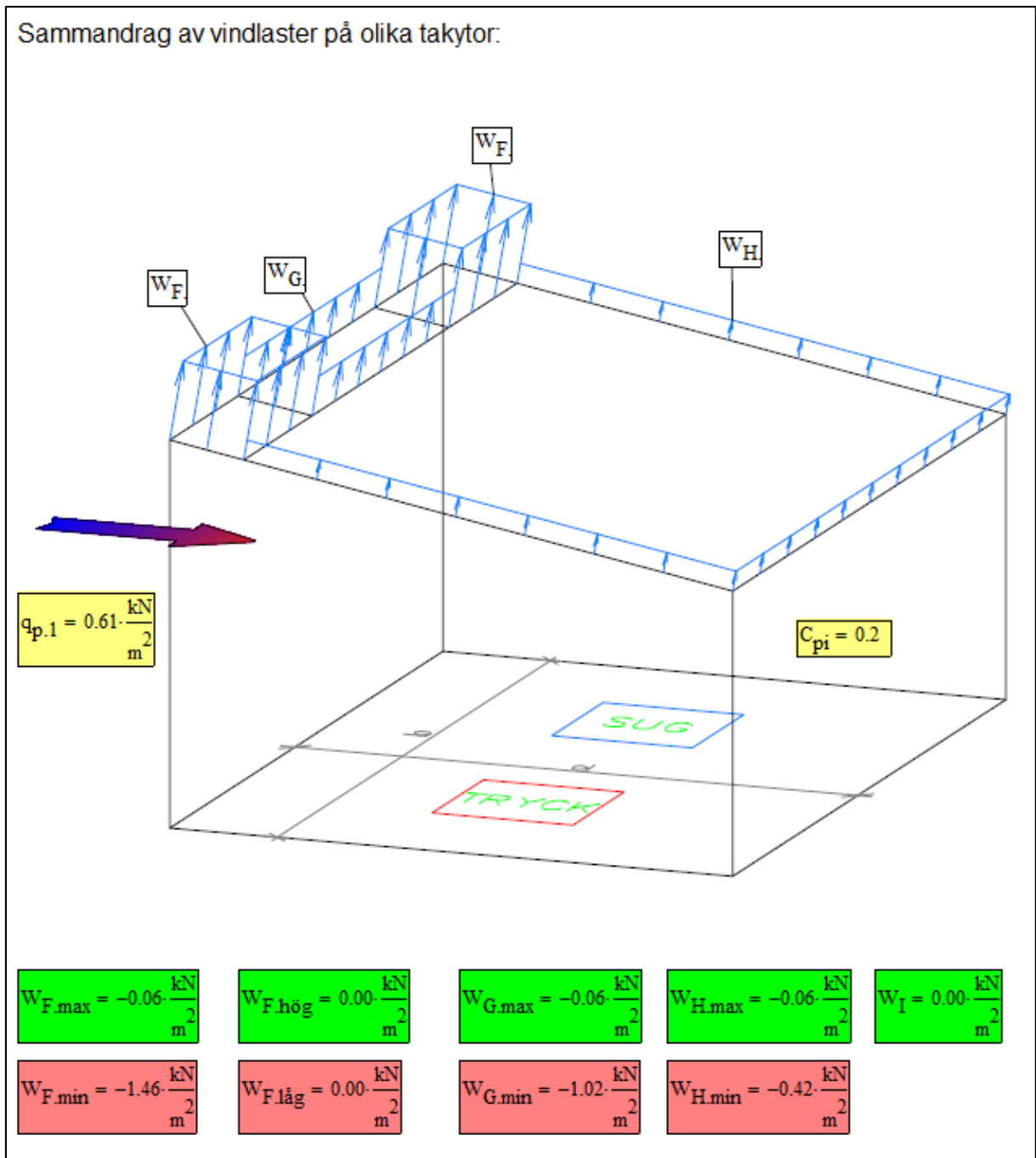
► We & Wi för taket

► Fw (max and min) taket

**Takzoner:**

$W_{F.max} = -0.06 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{F.hög} = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G.max} = -0.06 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H.max} = -0.06 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_I = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$
$W_{F.min} = -1.46 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{F.låg} = 0.00 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{G.min} = -1.02 \cdot \frac{kN}{m^2}$	$W_{H.min} = -0.42 \cdot \frac{kN}{m^2}$	

Ett sammandrag i form av en figur visas också för pulpettak.



### 3.2.3 Plattak

Tak med lutningen  $-5^\circ < \alpha < +5^\circ$  definieras som plana. Det som bör bestämmas under punkt 3.2 i applikationen är takfotens utformning. De olika typerna, normal, bröstning, rundad och fasad visas i figur 21. Ifall takfoten är fasad anges med vilken vinkel avfasningen är gjord, i förhållande till horisontalplanet, är takfoten rundad anges radien för rundningen och ifall takfoten består av bröstningar anges bröstningens höjd ovanför vattentaket.

**3.2 Zonindelning av taket (plattak):**

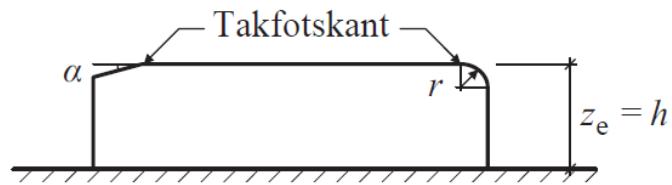
Takfot := <input type="button" value="Normal"/> <input type="button" value="Bröstning"/> <input type="button" value="Rundad"/> <input type="button" value="Fasad"/>	$\alpha := 45$	Fylls i ifall takfoten är avfasad
	$r := 0.5\text{m}$	Fylls i ifall takfoten är avrundad
	$h_p := 0.5\text{m}$	Fylls i ifall takfoten har bröstningar

---

► Zonindelning av taket

Lodrät projektion av takytorna (m<sup>2</sup>).

$\text{Area}_F = 7.7$	$\text{Area}_G = 112.1$	$\text{Area}_H = 510.4$	$\text{Area}_I = 1464.5$
-----------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------

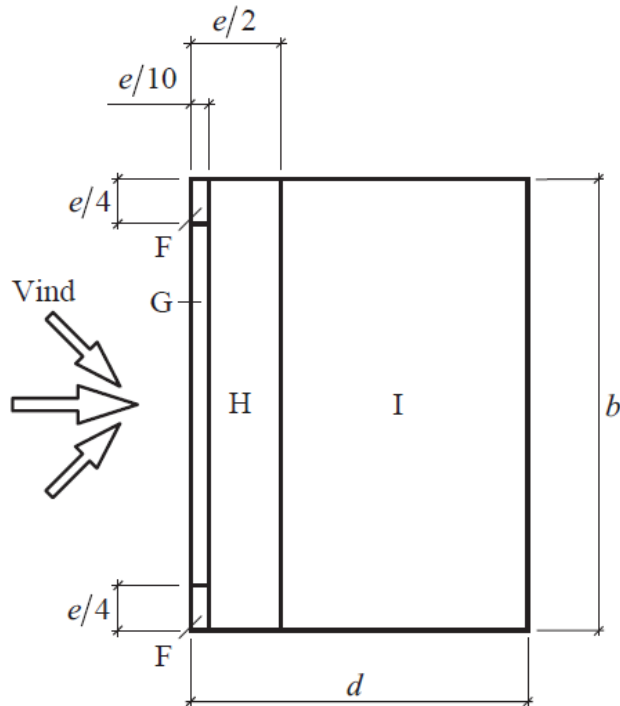


Avfasad eller avrundad takfot



Bröstningar

**Figur 24** Olika takfotstyper. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.12]



**Figur 25** Zonindelning och beteckningar för plana tak. *e*-värdet beräknas på samma sätt som tidigare. [Boverkets Eurokodhandbok: fig. 6.12]

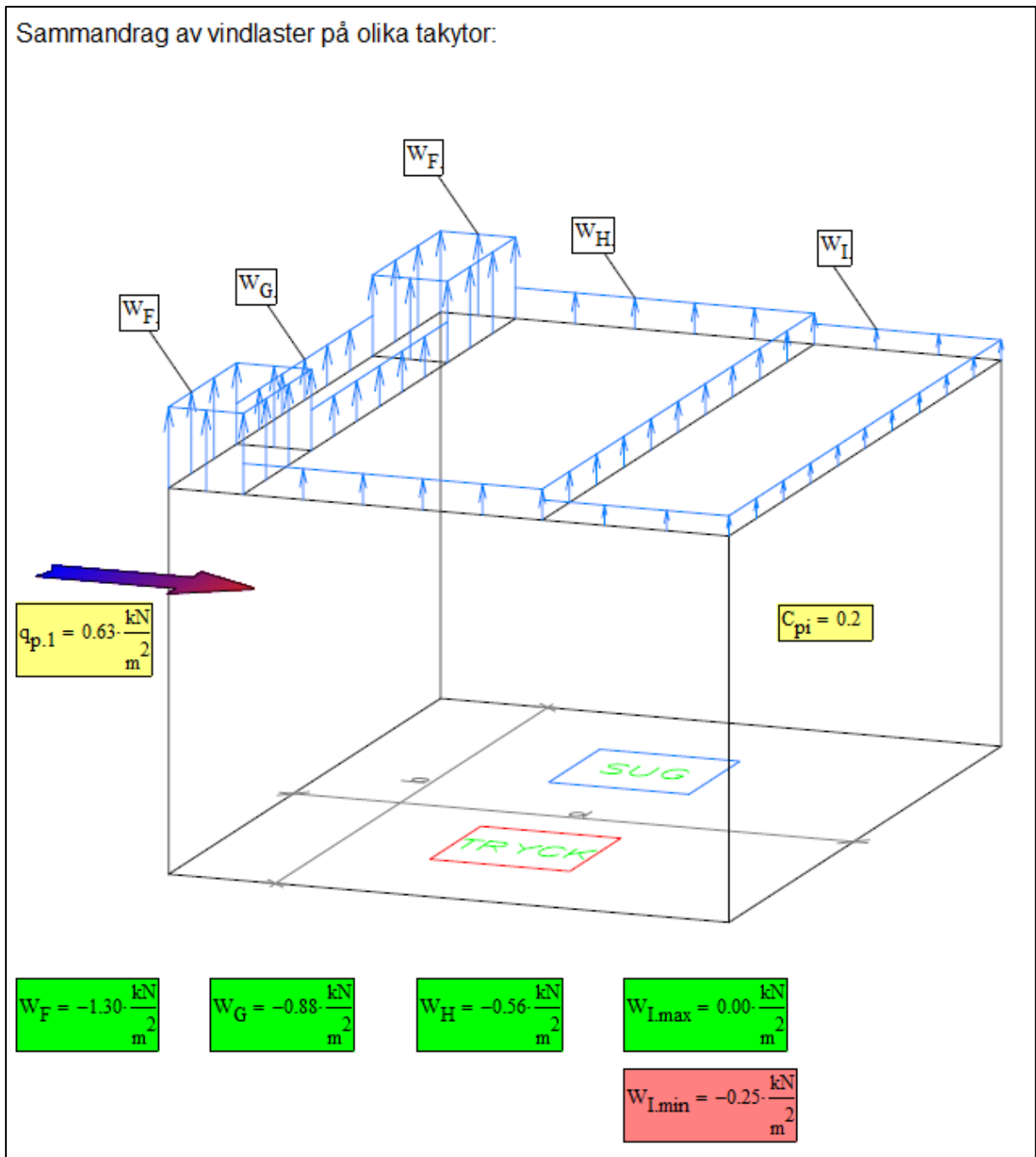
I zon I anges både negativa och positiva värden, så därför ska båda värdena beaktas. För de övriga zonerna finns endast ett värde.

► C <sub>pe</sub> taket			
$C_{pe,F} = -1.88$	$C_{pe,G} = -1.20$	$C_{pe,H} = -0.70$	$C_{pe,I1} = 0.20$
			$C_{pe,I2} = -0.20$

<b>Max- och min-värden på krafterna för olika takzoner</b>			
► W <sub>e</sub> & W <sub>i</sub> för taket			
► F <sub>w</sub> (max and min) taket			
<b>Takzoner:</b>			
$W_F = -1.30 \frac{kN}{m^2}$	$W_G = -0.88 \frac{kN}{m^2}$	$W_H = -0.56 \frac{kN}{m^2}$	$W_{I,max} = 0.00 \frac{kN}{m^2}$
			$W_{I,min} = -0.25 \frac{kN}{m^2}$



Ett sammandrag i form av en figur visas också för platttak.



### 3.3 Friktion

Långa smala byggnader påverkas också av en friktionskraft. Friktionskoefficienten  $c_{fr}$  kan direkt läsas ur en tabell och kan väljas i applikationen. Det enda som man bör fylla i under punkt 3.3 är denna friktionskoefficient.

Yta	Friktionskoefficient $c_{fr}$
Slät (t ex stål, jämn betong)	0,01
Ojämn (t ex ojämn betong, asfaltpapp)	0,02
Mycket ojämn (t ex profilering vinkelrät vindriktningen)	0,04

**Tabell 1** Friktionskoefficienten  $c_{fr}$  för väggar, bröstningar och takytor. [Boverkets Eurokodhandbok: tab. 6.13]

### 3.3 Friktion

Beräknar arean av friktionsområdet:

► Friktion

$A_{fr} = 70 \text{ m}^2$

Friktionskoefficient ur tab. 7.10 i RIL 201-1-2011:

Friktionskoefficient :=  
 Slät  
 Ojämn  
 Mycket ojämn

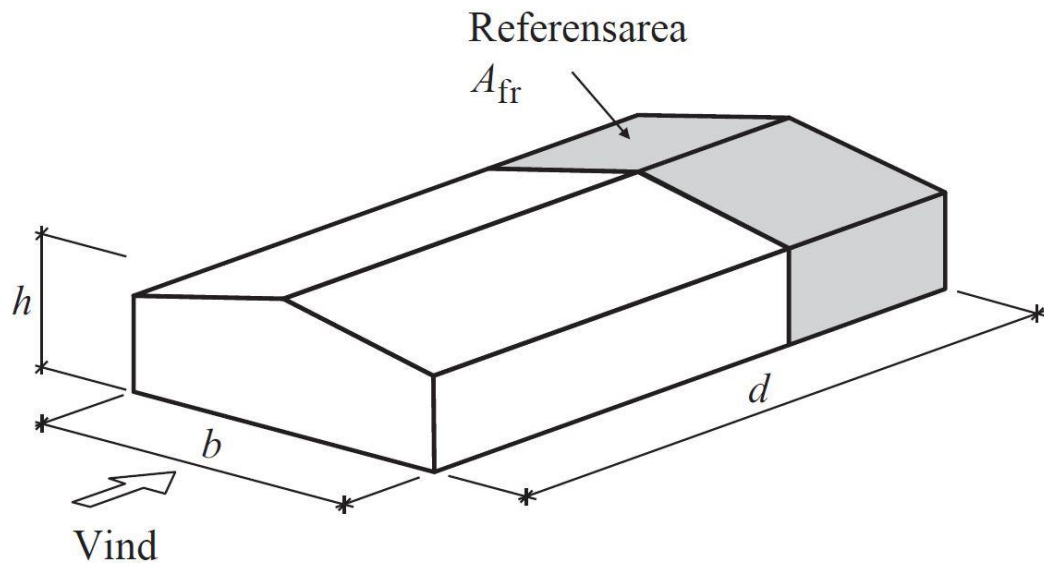
$F_{fr} = 0.02$

► Friktion

Friktionslast bestäms ur RIL 201-1-2011 (5.7):

$F_{fr} = 0.79 \text{ kN}$

Friktionen kan försummas om den totala arean av alla ytor som är parallella med vinden är lika med eller mindre än fyra gånger den totala arean av alla yttre ytor som är vinkelräta mot vinden, både lä och lovert. Applikationen beräknar detta automatiskt.



**Figur 26** Referensarea för friktion. Längden på referensarean är  $d - \min(2b, 4h)$  enligt RIL 201-1-2011 Kuva 7.22. [Boverkets Eurokodhandbok: tab. 6.13]

#### 4. Total horisontell vindlast med summering av tryckfaktorer

Faktorn  $\gamma_e$  tar i beaktande det bristande sambandet mellan vindlasten på lä- och lovart sidan. För byggnader med  $h/d > 5$  multipliceras den resulterande kraften med 1. För byggnader med  $h/d < 1$  multipliceras den resulterande kraften med 0,85. Linjär interpolation kan tillämpas för mellanliggande värden och applikationen beräknar denna faktor automatiskt och man får på så sätt fram den totala horisontella vindlasten, både den karakteristiska och med säkerhetskoefficient. Krafterna på taket delas upp i vertikala och horisontella komponenter för att kunna beräkna den totala horisontella vindkraften som är jämförbar med den totala horisontella vindkraften som kan bestämmas med hjälp av en kraftvektor  $c_f$ .

#### 4. Total horisontell vindlast med summering av tryckfaktorer

► Function  $\gamma_e$

$\gamma_e = 0.85$

► Fw total

**Horisontella krafter på olika zoner med säkerhetskoefficient::**

$F_{F,d} = -1.6 \text{ kN}$      $F_{G,d} = -1.63 \text{ kN}$      $F_{H,d} = -5.65 \text{ kN}$      $F_{I,d} = -23.37 \text{ kN}$      $F_{J,d} = 0 \text{ kN}$

Total karakteristisk **horisontell** vindlast:

$F_{w,h,k} = 25.7 \text{ kN}$

Total **horisontell** vindlast med säkerhetskoefficient:

$F_{w,h,d} = 38.5 \text{ kN}$

Total **vertikal** vindlast med säkerhetskoefficient:

$F_{w,v,d} = -120.4 \text{ kN}$

**Horisontell linjelast i nivå med ök-vägg med säkerhetskoefficient:**

$p_{vind} = 3.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

## Referenser

### *Tryckta:*

Eurokodhandboken Boverket

Eurocode 1, EN 1991-1-4

RIL 201-1-2011

### *Elektroniska:*

teknikhandboken.se

Hämtat: 29.10.2015