

# Brukerdokumentasjon ISY Design Allmenne Laster







#### **Norconsult Digital AS**

Kjørboveien 16 1337 SANDVIKA

Sentralbord:67 57 15 00Brukerstøtte:02467E-post:isydesign@norconsultdigital.noHjemmeside:https://norconsultdigital.no

© Copyright 2012-2025 Norconsult Digital AS

#### Merk!

Innholdet i dette dokumentet kan endres uten forutgående varsel.

Norconsult Digital har ikke ansvar for feil som måtte forekomme i denne brukerdokumentasjonen.

# Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse		i
Introduksjon		3
	Funksjon	.3
	Lisensmodell	.3
	Installasjon og lisensiering	.3
	Support	.3
	Brukerveiledninger	.4
Brukergrensesnitt		5
	Verktøylinje	.5
	Fil	.5
	Hjemme	.5
	Utseende	.5
	Navigasjonsmeny	.5
	Meldingsliste	.5
Praktisk bruk		7
	Snølaster	.7
	Vindlaster	.7
	Modellering	.7
	Tips og triks	.9
	Kart	11
	Byggestedets plassering	11
	Visningstype	12
	Vindretninger	12
Teorigrunnlag Vindla	ster	4
	Generelt	14
	Beregninger	14
	Antagelser og kontroller	14
	Geografi	15
	Vindretning og vindsektor	15
	Vindhastighet (EC1-1-4: 4)	16
	Referansevindhastighet	L7
	Basisvindhastighet	17
	Middelvindhastighet	19
	Vindkasthastighet	27

Vindhastighetstrykk (EC1-1-4: 4.5)	29
Formfaktorer for bygninger (EC1-1-4: 7.2)	29
Utvendig vindtrykk	30
Innvendig vindtrykk	35
Resulterende formfaktorer	
Frittstående tak (EC1-1-4: 7.3)	
Frittstående vegger (EC1-1-4: 7.4)	40
Kraftfaktorer	41
Konstruksjonsdeler	41
Spesielle konstruksjoner	43
Generelle konstruksjoner	45
Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.1)	45
Endeeffektfaktor (EC1-1-4: 7.13)	45
Konstruksjonsfaktoren (EC1-1-4: 6)	47
Referansehøyde	
Turbulenslengdeskala	
Spektral tetthetsfunksjon	
Bakgrunnsfaktor	50
Responsfaktor	50
Toppfaktor	52
Vindpåvirkninger (EC1-1-4: 5)	52
Vindtrykk på overflater (EC1-1-4: 5.2)	53
Vindkrefter (EC1-1-4: 5.3)	53

# Introduksjon

## Funksjon

ISY Design Allmenne Laster er et verktøy for beregning av snø- og vindlaster på bygninger og andre konstruksjonstyper. Under er en skisse av nøkkelfunksjonaliteten.

- Snølaster (under utvikling)
- Vindlaster
  - Utvendig og innvendig vindtrykk på bygninger med formfaktorer.
  - Vindtrykk på frittstående vegg med resulterende formfaktorer.
  - Vindtrykk og -kraft på frittstående tak med resulterende formfaktorer og kraftfaktorer.
  - Vindkraft på konstruksjonsdeler, fagverk, skilt, flagg, etc.
  - Varierende referansehøyde på fasader.
  - Beregning av konstruksjonsfaktor.
- Kart for stedsangivelse
  - Bestem sted (kommune) for ditt byggested med et klikk i kartet.
  - Automatisk angivelse av høyde over havet.
- Grafisk visning av resultater.
- Utskrift av rapport med oppsummering av modellen og presentasjon av beregningsresultatene.

## Lisensmodell

ISY Design finnes i to versjoner – Standard og Enterprise. Modulen Allmenne Laster er kun tilgjengelig i Standard. Lisensen gir tilgang til både snø- og vindlastberegninger. Merk at Snølaster vil være tilgjengelig på et senere tidspunkt da denne fortsatt er under utvikling.

## Installasjon og lisensiering

ISY Design bruker et lisenssystem som kommer fra FLEXERA. Dette installeres sammen med programmet. Det finnes også et eget program (ISY License) som gir en fullstendig oversikt over alle program fra Norconsult Digital som bruker samme lisenssystem. Dette krever egen installasjon, men er ikke påkrevd for å bruke ISY Design. Se veiledning for installasjon av lisenssystemet på våre hjemmesider.

#### Enbrukerlisens

Lisens for installasjon på lokal PC og fast knyttet til denne. Lisensen kan også knyttes til en fysisk dongle for dem som har behov for å flytte den mellom flere maskiner.

#### Flerbrukerlisens

Lisens for installasjon på server slik at flere kan bruke programmet. Lisensserver kontrollerer antall samtidige brukere.

## Support

Norconsult Digital AS har egen supporttjeneste hvor du som kunde får den hjelp du trenger der og da. Ring oss, eller ta kontakt via e-post.



#### Brukerstøtte: 02467

E-post: isydesign@norconsultdigital.no

Hjemmeside: https://norconsultdigital.no

Fra våre nettsider er det mulig å laste ned nye versjoner av programmet.

Det er ofte lettere å hjelpe deg dersom du sender en e-post med det dokumentet/filen du har spørsmål om. Dersom det er viktig å få svar raskt anbefaler vi at du ringer i tillegg. Vi har også fjernstyringsverktøy så vi kan se din skjerm, eller du ser vår skjerm.

For å styrke vår supporttjeneste ytterligere har vi investert i et felles supportsystem som skal forbedre vår dialog med dere i forbindelse med brukerstøtten. Som kunde kan du fortsatt benytte telefon og e-post, men den nye løsningen gir oss og dere en rekke nye muligheter for strukturert oppfølging av hver kunde og hver enkelt sak.

Supporttjenesten er tilrettelagt med en portal med "din-side", der du kan registrere deg som bruker, melde inn saker og følge opp status på dine egne saker. I tillegg inneholder portalen en egen side med tilgang til spørsmål og svar innen ulike tema. Du kan registrere deg som bruker ved å logge inn på våre supportsider på våre hjemmesider. Bruk gjerne lenken i programmet.

## Brukerveiledninger

ISY Design består av en rekke moduler. Relevant informasjon for Allmenne Laster finnes også i følgende veiledninger:

Brukermanual ISY Design Generelt;



# Brukergrensesnitt

Vi innleder med å beskrive et begrenset utvalg av detaljer fra programmet. For en mer utfyllende liste henviser vi til "Brukermanual ISY Design Generelt".

## Verktøylinje

Denne har tre fliker - Fil, Hjemme og Utseende. I tillegg finnes noen hurtigvalg øverst i skjermbildet.

🔶 💋 🎚 🍖 🖥	🖬 🔯 🖌 🖛 🔍 🖛 🖛			
Fil Hjemme	Utseende			
Start Innstillinger	✓ ● Bruk "snap to grid" Følsomhet 100	2D 3D 3D	<ul> <li>Fokuser konstruksjon</li> <li>✓ Terreng</li> <li>✓ Vindretning</li> </ul>	Signer dokument
Beregninger	Snap to grid	Grafikk	Vis	Signering

### Fil

Her finner vi de vanlige menyene for dokumenthåndtering og utskrift. I tillegg er lisensinformasjon, dokumentinnstillinger og firmainformasjon plassert her.

## Hjemme

Her vises alle muligheter du har for å legge inn og endre data. Innholdet varierer, slik at det er tilpasset hva som vises i skjermbildet. Merk at i gruppen for beregninger ligger knappen «Innstillinger» som gir deg muligheten å editere beregningsinnstillinger.

### Utseende

Her kan du påvirke hva som vises og hvordan det blir vist.

## Navigasjonsmeny

Navigasjonsmenyen (se figuren under) gir tilgang til hele modellen og alle beregningsresultatene. Det er lagt opp til at du skal kunne følge denne fra toppen og nedover. Merk at navigasjonsmenyen kan avvike fra figuren under avhengig av hvilken modul man benytter og valg som er gjort i dokumentet.



## Meldingsliste

Skulle det vise seg at modellen ikke oppfyller alle krav, eller du har lagt inn ugyldige data, vises det i *meldingslisten* (se figur). Alle feil, advarsler og informasjonsmeldinger havner her. Det samme gjelder for valideringer som feiler.



	ų	×
Opprinnelse		
Vind, Retning 0°, Terreng		-
Konstruksjon		
	Opprinnelse Vind, Retning 0°, Terreng Konstruksjon	Opprinnelse           Vind, Retning 0°, Terreng           Konstruksjon

For å gi bedre oversikt er meldinger som kommer frem flere ganger samlet i en node, som kan åpnes på samme måte som mapper i Windows Explorer. Her vises også utdypende informasjon om årsaken til meldingen. I de fleste tilfeller vil du også kunne dobbeltklikke på meldingen slik at du får vist det vindu hvor meldingen oppsto.



# Praktisk bruk

Her gjennomgås noen typiske brukstilfeller. For hvert steg beskrives et utvalg av muligheter i programmet. Eksemplene dekker ikke alt, men de skal være tilstrekkelige til at du forstår resten selv.

Merk at detaljene i skjermutklippene kan avvike noe fra det du ser i programmet.

## Snølaster

Modulen for beregning av snølaster er under utvikling. Så snart denne er lansert så vil praktisk bruk for modulen beskrives her.

## Vindlaster

### Modellering

**1.** Opprett et nytt Vindlaster dokument, som vist i figuren.



- 2. Legg inn geometridata.
  - Velg type konstruksjon.
  - Velg taktype dersom relevant.
  - Angi geometrien til din konstruksjon.
  - Bestem endeeffekt og kraftfaktor der relevant.
  - Merk at du kan editere de geometriske verdiene direkte i grafikkvinduet.



- 3. Angi byggested.
  - Velg plassering av byggested (kommune).
    - Valget kan gjøres direkte i kommunevelgeren, ved å klikke i kartet eller søke etter adresse.
    - Merk at dersom retningsfaktor er relevant, må man også angi region for denne manuelt.
  - Angi byggestedets høyde over havet. Dersom det er valgt plassering i kart, vil programmet automatisk sette denne verdien.
  - Sett data for vindforhold for ditt byggested.

Byggested			Høyde o	over havet		Kart
Kommune	Trondheim 👻		н	$\checkmark$	106 m	
Fylke	Sør-Trøndelag		Нo		900 m	Søk Q
Region	Trøndelag, vest 🔹 💌		H <sub>topp</sub>		1 500 m	
Plassering	7033808, 571350		Region	Område 1		n production of the second sec
Vindforho	ld		Basisvin	dhastighet		Trondheim
Lufttetthet	1,25	kg/m <sup>3</sup>	V <sub>b,idir</sub>		26,0 m/s	Tråante
т	50	år	v <sub>b,0</sub>	$\checkmark$	26,0 m/s	Flakk Vikhammer
р	0,02		c <sub>alt</sub>	<b>V</b>	1,00	Trolla
Reduser	for årstidsvariasjon		c <sub>prob</sub>		1,00	All
			c <sub>season</sub>	<ul> <li></li> </ul>	1,00	Rye Starresborg Reppe
						Bymarka
						A 1566 Storpais Byäsen
						Herjuan
						ST TOURS TO FAL

- 4. Angi data for vindhastighet og vindhastighetstrykk
  - Angi ruhetskategori og eventuell overgangssone.
  - Legg inn terrengform.
  - Bestem konstruksjonsfaktor dersom aktuelt.
  - For bygning kan du velge å regne med én forenklet vind eller fire ortogonale vindretninger.
    - Ved fire vindretninger må du angi vinddata for alle retningene.
    - Hvis du har angitt plassering av byggested på kart, så vil kartet gi veiledning til dine vinddata.
- 5. Laster (resultater)

Þ

- Beregning utføres automatisk når du går til menypunktet.
- Dersom det er flere lasttilfeller, kan detaljer sees på ved å velge en av dem i listen til venstre. Man kan også filtrere lasttilfeller med valgene ovenfor.
  - Detaljer om vindtrykk og vindkraft vises også i grafikkvisningen.
    - Merk at det er mulig å dobbeltklikke på en sone i grafikken for å få opp ytterligere informasjon om sonen.
- I verktøylinjen kan man velge hvordan lastene skal vises i grafikken.





#### **Tips og triks**

Se også andre brukermanualer for flere tips og triks for hvordan man bruker programmet.

#### Type visning av laster og fargevalg

Beregnet vindtrykk gjøres per sone på konstruksjonen. I den grafiske visningen av laster kan man velge om man vil se soneinndelingen eller vindtrykk. For frittstående tak kan man også velge å se resulterende vindkraft. I tillegg kan man velge hvordan sonene eller lastene skal fargelegges. For vindtrykk på bygninger kan man også velge å se på utvendig, innvendig eller netto vindtrykk.



I tabellen over soner ser man at hver sone har en unik farge. Bruk dette fargevalget for å gjøre det tydelig hvilken sone som er hva. Legg merke til at du kan endre standard farge for den enkelte sonen under beregningsinnstillinger.

Farger			
Sone	Farge		
А	#FFD08966	-	•
В	#FFE3C5A5	-	
С	#FFF5E4D7	-	
D	#FF497A68	-	
E	#FFA1C0D9	•	
F	#FFB4D0A3	-	
F,høy	#FFA5A06D	-	
F,lav	#FFB4D0A3	-	
G	#55640060		1

Du kan også velge at soner og lasters farge skal være dynamisk justert basert på intensitet og fortegn. Rød farge indikerer et trykk på konstruksjonen, og en blå farge indikerer et sug.

#### Filtrering av lasttilfeller

Ved bestemmelse av vindlaster på bygning vil det, i henhold til standarden, være svært mange relevante lasttilfeller. ISY Design beregner alle lasttilfeller, og det er opp til bruker å velge hvilke som skal brukes videre. Programmet har mulighet for å filtrere disse lasttilfellene. Man kan velge type utvendig formfaktor, største eller minste innvendig formfaktor, og vindretning. Valget gjøres i gruppen over listen over lasttilfeller.

	Filt	ter							
4	c <sub>pe</sub>	c,pe,10	•	c <sub>pi</sub>	Alle	-	θ	Alle	•

#### Lasters avstand fra konstruksjon

I grafisk visning av laster kan man justere avstand fra last/sone til konstruksjonen. Dette gjøres med den vertikale styrelinjen til venstre i den grafiske visningen.



#### Endring av konstruksjonstype

Modulen Vindlaster støtter mange forskjellige typer konstruksjoner. Det er stor forskjell i hvordan programmet håndterer de forskjellige konstruksjonstypene. Ved endring av konstruksjonstype vil det opprettes nye objekter med standard verdier. For at ikke brukervalg skal gå tapt vil det utføres en kopiering av data der dette er relevant. Hvis man for eksempel endrer type fra bygning til rektangulær konstruksjonsdel, så vil programmet kopiere med seg geometriske data, samt data fra den vindretningen med størst (kritisk) vindkasthastighetstrykk. Dersom man ikke ønsker kopiering av geometriske data, så kan man skru av dette under programinnstillinger (Fil – Innstillinger – Standardvalg for lastberegning). Legg også merke til at endring av konstruksjonstype vil automatisk sette rapporttype til Standard.



#### Varierende referansehøyde på vegger

ISY Design Vindlaster støtter varierende referansehøyder på vegger på bygninger. Du kan velge å bruke konstant referansehøyde på vegger i beregningsinnstillinger. Der velges også hvor mange «striper», altså mellomliggende soner, som skal beregnes dersom høyden er større enn 2*b*.

I resultatvisningen vil de mellomliggende sonene (undersoner) ligge i en treliste-struktur. Åpne hovedsonen for å se undersonene. Merk at undersoner får et tall i tillegg til sin bokstav. Data som vises på raden for hovedsonen er fra den undersonen som har størst netto vindtrykk. Legg også merke til at det er egne farger for undersoner.

Fasade 2 (N)				-	-	-	-	-	-
	4	А		36,1	0,98	-1,40	-1,37	-1,15	108,3
		А	1 📕	15,0	0,79	-1,40	-1,11	-0,89	45,0
		A	2	17,0	0,82	-1,40	-1,14	-0,92	6,1
		A	3 📕	19,1	0,84	-1,40	-1,18	-0,96	6,1
		A	4	21,1	0,86	-1,40	-1,21	-0,99	6,1
		А	5 📕	36,1	0,98	-1,40	-1,37	-1,15	45,0
	•	В		36,1	0,98	-1,10	-1,07	-0,85	252,7



## Kart

ISY Design Allmenne Laster tilbyr bruk av kartdata for å enklere bestemme byggestedets plassering og relevante snø- og vinddata. Kartet er kun tilgjengelig dersom man er tilkoblet internett.

## **Byggestedets plassering**

Angivelse av byggestedets plassering kan gjøres enten ved å klikke i kartet, søke etter adresse eller manuelt velge kommune. Dersom plassering er valgt i kartet så vil programmet også hente byggestedets høyde over havet og region for bestemmelse av høydefaktoren,  $c_{alt}$ . I verktøylinjen kan man finne igjen valgt plassering i kartet ved å klikke på «Vis byggested».





Legg merke til at noen stedsdata ikke er automatisk bestemt av kartet. Region for retningsfaktor,  $c_{dir}$ , må angis manuelt. Dette fordi det ikke er kartdata for bestemmelse av disse regionene, og det er for løst beskrevet. I tillegg er det noen kommuner som er delt inn i flere delsoner. Se for eksempel Bodø i Tabell NA.4(901.1) i EC1-1-4. Her må bruker selv velge om det er «Sørøst for Sandfjellet» eller ikke.

Byggested			
Kommune	Bodø 🗸		
Område	Sørøst for Sa 🗸		
Fylke	Bodø		
Region	Sørøst for Sandfjellet		
Plassering	7475711, 736571		

### Visningstype

Kartet i ISY Design har flere visningstyper – grå, farger eller flyfoto. Valget gjøres ved å klikke på boksen nederst i høyre hjørne. Som standard vil ISY Design bruke gråtone for kartet ved valg av byggested og farger ved angivelse av vinddata.



### Vindretninger

I menypunktet for Vind i modulen Vindlaster, så vil kartet også inkludere et kart-lag dersom byggestedets plassering er valgt i kartet (koordinater). Dette laget er en sirkel med radius 10 km. Dersom det er valgt å beregne med fire ortogonale vindretninger, så vil også valgt vindretning vises i kartet (rød farge). Overgangssoner vil også illustreres med en sirkel (eller del av sirkel) i den valgte avstanden fra byggestedets plassering.





# **Teorigrunnlag Vindlaster**

## Generelt

Formlene for beregningene av vindlaster er i henhold til følgende standard. Se Brukermanual ISY Design Generelt for mer informasjon om inkluderte versjoner av standardene og tilhørende nasjonale tillegg.

Eurokode 1, EN 1991-1-4 (EC1-1-4)

Programmet bruker de konstanter og formler som er angitt i det aktuelle nasjonale tillegget til Eurokode. I tillegg til verdiene angitt i de nasjonale tilleggene, er det også mulig å benytte de anbefalte verdier som er angitt i basisutgaven av Eurokode. Merk i så fall at disse beregningene ikke er tillatt benyttet til konstruksjoner i noe land, og er kun ment som et sammenligningsgrunnlag.

I den grad formlene er hentet direkte fra standarden er punkt-/tabellnummer i standarden gitt.

### Beregninger

Noen beregninger kjører kontinuerlig etter hvert som brukeren endrer sine inndata, og derfor kan man anta at de alltid er oppdaterte. Hvis du har valgt å overskrive automatisk beregnede verdier, må du selv holde disse oppdatert ved endringer andre steder i dokumentet. Øvrige beregninger, dvs. alle resultater, blir først utført når brukeren går til menypunktet for «Laster» eller velger «Start beregning».

### Antagelser og kontroller

- Programmet er anvendbar for bygg- og anleggskonstruksjoner med høyde på inntil 200 m (EC1-1-4: 1.1(2)).
  - Som beskrevet i EC1-1-4 kapittel 1.1 er følgende er ikke dekket av dette programmet:
    - Lokale termiske virkninger på den karakteristiske vinden er ikke tatt hensyn til.
    - Bardunerte master, gittertårn og lysmaster er ikke behandlet i dette programmet.
    - Torsjonsvibrasjoner.
    - Vibrasjoner i brudekket.
    - Hengebruer/bruer.
    - Vibrasjoner der mer enn første egensvingeform trenger å vurderes.
- Følgende punkter i EC1-1-4 blir ikke håndtert av programmet (merk at denne listen ikke må antas å være komplett)
  - Interferens i henhold til EC1-1-4 kapittel 6.3.3.
  - Asymmetriske og motvirkende trykk og krefter i henhold til EC1-1-4 kapittel 7.1.2.
  - Virkninger av is og snø i henhold til EC1-1-4 kapittel 7.1.3. Det er opp til bruker å angi geometri og andre relevante data for å ta hensyn til dette.
  - Trykk på vegger eller tak med mer enn ett lag i henhold til EC1-1-4 kapittel 7.2.10.
  - Vurdering av brukbarhet i henhold til EC1-1-4 kapittel 6.3.2.
  - Utmatting på grunn av vindlaster.



## Geografi

Vindhastighet er avhengig av mange faktorer, og flere av disse er basert på geografisk plassering av byggestedet i Norge. Bruker må angi kommune og tilhørende fylke for bestemmelse av referansevindhastighet. Legg merke at i 2017 ble det utført en omfattende reduksjon i antallet kommuner og fylker. Det er den gamle kommune- og fylkesinndelingen (2009) som benyttes av EC1-1-4, og følgelig må angis som byggestedets plassering. Programmet bruker datasettet for kommuneinndeling fra og med 1. januar 2009.

Dersom det er valgt å redusere vindhastighet ved å ta hensyn til retningsfaktor,  $c_{dir}$ , må bruker også angi region i henhold til Tabell NA.4 (901.4). Det vil altså ikke utføres noe form for kobling mellom valgt kommune/fylke og region, da regionene i Tabell NA.4 (901.4) er for tvetydig. Se kapittel «Vindretning og vindsektor» og «Basisvindhastighet» for mer informasjon.

Bestemmelse av vindfaktoren  $c_{alt}$  må beregningen vite hvilket område byggestedet ligger i. Kobling mellom område og fylke/distrikt er håndtert av programmet.

## Vindretning og vindsektor

I ISY Design beregnes vindlaster for kun én generell vind for alle konstruksjonstyper med unntak av bygninger. Det er viktig at bruker angir inndata for det han vil beregne, og konstruksjonens geometri angis i henhold til denne vinden (vindretningen).

Bygninger har fire ortogonale vindretninger, der det beregnes vindlaster (vindtrykk) for hver retning. Hver vindretning går normalt inn på hver side av bygningen. Konstruksjonen vil som standard være plassert i henhold til nord (og de andre himmelretningene), og bruker kan velge å rotere konstruksjonen.



For hver ortogonal vindretning har vi en nominell vindsektor ( $\pm$ 45° på hver side av vindretning) som definert i Figur 4.1 i EC1-1-4. I henhold til punkt 7.2.1(2) er formfaktorer for vindtrykk på bygninger definert som de mest ugunstigste for den nominelle vindsektoren for hver ortogonal vindretning. Bruker skal angi relevant data for beregning av vindhastighet for denne sektoren. Legg merke til at terrengruhet skal bestemmes ved å se på en vindsektor  $\pm$ 30° for en vilkårlig vindretning i hver



nominell vindsektor. Det er opp til bruker å angi terrengruhet, og skal velge den med minste ruhetslengde (EC1-1-4: 4.3.2(3-4)).



For hver vindretning må det angis data om vinden og terrenget. Dersom man ønsker å bruke én vind på alle fire ortogonale vindretninger, så kan man velge «Forenklet vind» i beregningsinnstillingene. Da angis vind- og terrengdata kun én gang, og resulterende vindkasthastighetstrykk benyttes for alle ortogonale vindretninger.

I det norske nasjonale tillegget er det en egen beregning av retningsfaktor,  $c_{dir}$ . Den er gitt i Tabell NA.4 (901.4), og er avhengig av byggestedets plassering (region) og vindens himmelretning. Det nasjonale tillegget anbefaler å bruke verdi 1,0 for faktoren, og det er standardvalget i programmet. Bruker kan alltids overstyre retningsfaktoren ved å velge en av de relevante himmelretningene for en gitt ortogonal vindretning, eller angi faktoren manuelt.

## Vindhastighet (EC1-1-4: 4)

Vindhastighet og vindhastighetstrykk bestemmes basert på middelvindhastigheten, basisvindhastigheten, vindens høydevariasjon, og turbulensintensitet (EC1-1-4: 4.1(1)). Dette kapittelet forklarer hvordan de forskjellige verdiene beregnes.

Norsk tillegg: Verdiene skal bestemmes på grunnlag av reglene i standarden og det nasjonale tillegget

Beregningen av vindhastigheten utføres i flere steg, der hvert steg tar hensyn til ulike effekter. Stegene er beskrevet i egne kapitler, men kan kort oppsummeres som:

1. Referansevindhastighet

a. Hentes fra kart og/eller tabell i nasjonalt tillegg

- 2. Basisvindhastighet
  - a. Høyde over havet
  - b. Returperiode
  - c. Vindretning
  - d. Sesong
- 3. Middelvindhastighet
  - a. Terrengruhet
  - b. Terrengform
- 4. Vindkasthastighet

- Norconsult Digital
  - a. Vindturbulens

### Referansevindhastighet

Referansevindhastigheten  $v_{b,0}$  er den karakterisitske 10 minutters middelvindhastigheten, uavhengig av vindretning og årstid, 10 meter over terrengnivå som tilsvarer terrengkategori II (EC1-1-4: 4.2(1)P).

Norsk tillegg: Se underkapittel.

#### Norsk tillegg

Referansevindhastigheten,  $v_{b,0}$ , for de norske kommunene og nærliggende havområder er gitt i Tabell NA.4(901.1) og på Figur NA.4(901.1). Merk at programmet benytter Tabell NA.4(901.1) da det er antatt at denne har de mest nøyaktige verdiene.

For Svalbard gjelder  $v_{b,0} = 30$  m/s.

Legg merke til at en merknad i EC1-1-4 NA.4.3.2(2) (901.2) som sier at en interpolert verdi av referansevindhastigheten kan benyttes ved beregning av middelvindhastighet med ruhetsendring (overgangssoner). Dette er ikke hensyntatt av programmet. Det er opp til bruker å angi en interpolert verdi dersom han eller hun mener det er relevant.

### Basisvindhastighet

Basisvindhastigheten beregnes med følgende formel. Merk at dette gjelder for høyden 10 meter over bakken og terrengkategori II.

$$v_b = c_{dir}c_{season}c_{alt}c_{prob}v_{b,0}$$

Der  $v_{b,0}$  er referansevindhastigheten,  $c_{prob}$  er en faktor som tar hensyn til overskridelse for et valgt år (se kapittel «Returperiode»), og

$$c_{dir} = 1,0$$

Norsk tillegg: Kan velges lik 1,0 for alle vindretninger. Eventuelle lavere verdier for enkelte sektorer er gitt i Tabell NA.4 (901.4).

$$c_{season} = 1,0$$

Norsk tillegg: Kan velges lik 1,0.

Eventuelle lavere verdier er gitt i Tabell NA.4(901.5), 0,8 for mai til og med august, og 1,0 ellers.

Se kapittel «Vindretning og vindsektor» for mer informasjon om retningsfaktoren, og hvordan den håndteres for bygninger med fire nominelle vindsektorer (ortogonale vindretninger).

For flyttbare konstruksjoner som kan brukes når som helst i løpet av året, bør  $c_{season}$  settes lik 1,0 (EC1-1-4: 4.2(3)).

Vindøkning med høyde over havet er ikke tatt hensyn til i standarden, men det norske nasjonale tillegget har en egen faktor for dette, i.e.

$$c_{alt} = 1,0$$

Norsk tillegg: Se underkapittel.

Programmet beregner også en basisvindhastighet som er retningsuavhengig, i.e.

 $v_{b,idir} = c_{season}c_{alt}c_{prob}v_{b,0}$ 

Basisvindhastigheten kan da beregnes som

$$v_b = c_{dir} v_{b,idir}$$

#### Returperiode

Faktor for å beregne 10 minutters vindhastigheten med sannsynlighet p for overskridelse et tilfeldig valgt år bestemmes med følgende uttrykk.

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \ln(-\ln(0,98))}\right)^n$$

K = 0.2

n = 0.5

Norsk tillegg: Kan normalt settes lik 1,0. Formel benyttes dersom en annen returperiode enn 50 år velges.

Der

Norsk tillegg: Samme som standard

Norsk tillegg: Samme som standard

$$p = \frac{1}{T}$$

Der T er antall år (returperiode), og begrenses til å være minst 2 år.

#### Vindøkning med høyde over havet i Norge

Referansevindhastigheten tar hensyn til skjermingseffekten av fjellkjeder under tregrensen. Over tregrensen øker basisvindhastighet som følge av nivåfaktoren, som bestemmes ut fra følgende uttrykk.

$$c_{alt} = \begin{cases} 1,0 & v_{b,0} \ge v_0 \\ 1,0 + \frac{(v_0 - v_{b,0})(H - H_0)}{v_{b,0}(H_{topp} - H_0)} \ge 1,0 & v_{b,0} < v_0 \end{cases}$$

$$H \leq H_{topp}$$

$v_0$	Terskelverdi. $v_0 = 30 \text{m/s}$
Н	Høyde over havet for byggestedet.
$H_0$	Høyden over havet der nivåkorreksjon begynner (tregrensenivået).
	Høyden er gitt i Tabell NA.4(901.2).
$H_{topp}$	Høyden over havet der maksimal nivåkorreksjon er nådd.
	Høyden er gitt i Tabell NA.4(901.2).

### Middelvindhastighet

Middelvindhastigheten (også kalt stedsvindhastighet) er gitt som

$$v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$$
  
Norsk tillegg: Ruhets- og formfaktor har eget opplegg.

Der  $c_r$  er ruhetsfaktor (se kapittel «Terrengruhet»),  $c_o$  er terrengformfaktor (se kapittel «Terrengform»), og z er høyde over terrenget.

Betydningen av omkringliggende konstruksjoner for vindhastigheten bør hensyntas i henhold til EC1-1-4: 4.3.4. Det vil si at store og betydelig høyere omkringliggende konstruksjoner kan øke vindhastigheten. Legg merke til at effekten av tettliggende bygninger og hindringer (EC1-1-4: 4.3.5) er ikke støttet i dette programmet.

## Terrengruhet

Ruhetsfaktoren er gitt som

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Der

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$$

Norsk tillegg: Det norske nasjonale tillegget tilbyr verdier for  $k_r$  i samme tabell som  $z_0$  og  $z_{min}$ . Merk at programmet bruker tallene fra tabellen for  $k_r$ .

$$z_{0,II} = 0,05$$
m



#### $z_{max} = 200 \text{m}$

Dette uttrykket gjelder for høyder  $z_{min} \le z \le z_{max}$ . For høyder mindre enn  $z_{min}$  benyttes følgende.

$$c_r(z) = c_r(z_{min})$$

Ruhetslengden og minimumshøyden er gitt i Tabell 4.1, gjengitt under.

Norsk tillegg: Verdier på  $k_r$ ,  $z_0$ , og  $z_{min}$  er gitt i Tabell NA.4.1.

Terrengkategori	<b>z<sub>0</sub></b> [m]	<i>z<sub>min</sub></i> [m]	k <sub>r</sub>
0	0,003	1 (NO: 2)	NO: 0,16
l I	0,01	1 (NO: 2)	NO: 0,17
Ш	0,05	2 (NO: 4)	NO: 0,19
III	0,3	5 (NO: 8)	NO: 0,22
IV	1,0	10 (NO: 16)	NO: 0,24

ISY Design Vindlaster tar ikke hensyn til overgangssoner med forskjellig ruhet i henhold til tillegg A.2. Det er opp til bruker å angi riktig terrengkategori. Ved valg mellom to eller flere terrengkategorier bør den minste ruhetslengden brukes. Merk at det norske nasjonale tillegget har eget opplegg for å håndtere overgangssoner som er inkludert i programmet.

Norsk tillegg: Se kapittel «Overgangssone i Norge».

$Z_0$	Ruhetslengden definert i Tabell 4.1. Dersom valget består av flere terrengkategorier for
	et gitt område, bør den minste verdien brukes (EC1-1-4: 4.3.2(4)).
Z <sub>0,II</sub>	Ruhetslengden for terrengkategori II (Tabell 4.1).
Z <sub>min</sub>	Minimumshøyden definert i Tabell 4.1.
Z <sub>max</sub>	Maksimumshøyden (200m).

#### <u>Terrengkategori</u>

Terrengkategorier er definert i henhold til EC1-1-4 Tillegg A, Figur A.1. Hver kategori har en beskrivelse og tilhørende største ruhetslengde (Tabell 4.1). For å finne hvilken kategori som gjelder for en vindretning må man se på en vinkelsektor som går fra konstruksjon mot vindretning med en vinkel på 30° ( $\pm$  15° på hver side av vindretning). Se kapittel «Vindretning og vindsektor» og EC1-1-4: 4.3.2(2) for mer informasjon.

Vi antar at alle form- eller kraftfaktorer er definert for en nominell vinkelsektor, og da skal den minste ruhetslengden blant hvilken som helst vinkelsektor på 30° benyttes (EC1-1-4: 4.3.2(3)). Hvis valget består av flere terrengkategorier for et gitt område, bør den minste ruhetslengden brukes (EC1-1-4: 4.3.2(4)). Det vil si en lavere terrengkategori.

#### Overgangssone i Norge

Middelvindhastighet ved overgangssoner er gitt som

 $v_m(z) = c_o v'_m(z)$ 



Dersom byggestedet ligger nærmere enn 10 km fra naboområder med en vesentlig annen ruhet skal middelvindhastigheten og turbulensintensiteten justeres i henhold til det nasjonale tillegget for den aktuelle vindretningssektoren. Se Figur NA.4(901.2) for skjematisk visning av overgangssone.

Dersom terrengruheten øker fra område A til B beregnes middelvindhastigheten i overgangssonen som

$$v'_{m}(z) = \min \begin{cases} v'_{m,B}(z)c_{s}(x_{B}) \\ v'_{m,A}(z) \end{cases}$$

Dersom terrengruheten avtar fra område A til B beregnes middelvindhastigheten i overgangssonen som

$$v'_m(z) = \max \begin{cases} v'_{m,B}(z)c_s(x_B)\\v'_{m,A}(z) \end{cases}$$

Der  $v'_{m,A}(z)$  og  $v'_{m,B}(z)$  er middelvindhastigheten i henholdsvis sone A og B, beregnet med basisvindhastighet  $(v_b)$  fra byggested, terrengform ikke inkludert  $(c_o = 1,0)$ , og terrengruhet  $(c_r)$  fra sin respektive sone.

 $c_s(x_B) = \begin{cases} c'_s(x_B) & \text{for økende ruhet} \\ 2 - c'_s(x_B) & \text{for avtagende ruhet} \end{cases}$ 

 $c'_{s}(x_{B}) = 10^{-0.04|n|\log(x_{B}/10)}$ 

Merk at dersom referansevindhastigheten endres innenfor 10 km, kan en interpolert verdi brukes (EC1-1-4: NA.4.3.2(2) (901.2.1) Merknad). Dette er ikke hensyntatt i programmet, og det er opp til bruker å sette egendefinert referansevindhastighet.

Overgangssonefaktorer ( $v'_m(z)/v'_{m,B}(z)$ ) er gitt i tabellene NA.4 (901.6) og NA.4 (901.7) for z-verdier i intervallet 2-30m. Programmet benytter ikke disse tabellene, men beregner basert på de angitte formlene istedenfor.

Husk at overgangssoner påvirker også turbulensintensiteten. Dette er beskrevet i kapittel «Overgangssone i Norge».

Ettersom byggestedet ligger i sone B, vil alle relevante inndata være angitt for denne sonen. Der overgangssoner er relevant, kan bruker overstyre følgende verdier for sone A.

- Terrengkategori sone A
- Avstand fra byggested til overgangssone, x<sub>B</sub>

Legg også merke til at overgangssoner vurderes for hver aktuell vindretning.



$x_B$	Avstand i kilometer fra overgang i terrengruhet til byggestedet.
п	Antall terrengruhetskategorier som det endres med ved overgangen fra område A til B.
	Tallverdien til <i>n</i> benyttes, altså absoluttverdien.

#### Terrengform

Terrengformen (åser, skråninger og bratt terreng) kan øke, og potensielt redusere, vindhastigheten. Dette hensyntas med terrengformfaktoren  $c_o$ . Prosedyre for bestemmelse av faktoren ligger i EC1-1-4: Tillegg A.3.

Norsk tillegg: A.3 benyttes ikke, eget opplegg i norsk tillegg. Se underkapittel.

Det kan sees bort fra virkningene av terrengform når den gjennomsnittlige helningen av terrenget på vindsiden er mindre enn 3°, men dette tas ikke hensyn til av programmet.

Legg merke til at minimumshøyde,  $z_{min}$ , ikke påvirker beregning av terrengformfaktor. I henhold til kapittel 4.3.3 og Tillegg A.3 i EC1-1-4 skal terrengform bestemmes uavhengig av terrengruhet. I det norske nasjonale tillegget er det egen beregning av faktoren, og for åser og skråninger kan vertikal høyde over terrenget på byggested (z) antas begrenset av  $z_{min}$ . Programmet beregner uten denne begrensningen, på samme måte som for basis EC1-1-4, men bruker kan velge å inkludere den i beregningsinnstillingene.

#### Beregning av faktor etter tillegg A.3

Terrengformfaktoren tar hensyn til økningen av middelvindhastigheten over enkeltstående åser og skråninger. Det skal tas hensyn til terrengformen for følgende byggesteder med tilhørende begrensninger. Dersom valgt byggested havner utenfor begrensningene er det ikke nødvendig å ta hensyn til virkningene av terrengform, og faktoren settes til 1,0.

Byggested	Begrensning
Losiden av fjell og åser	$0.05 < \Phi \le 0.3$ og $ x  \le L_u/2$
Lesiden av fjell og åser	$\Phi < 0.3 \text{ og } x < L_d/2$
	$\Phi \ge 0.3 \text{ og } x < 1.6H$
Losiden av klipper og skråninger	$0,05 < \Phi \le 0,3 \text{ og }  x  \le L_u/2$
Lesiden av klipper og skråninger	$\Phi < 0.3 \text{ og } x < 1.5L_e$
	$\Phi \ge 0,3 \text{ og } x < 5H$

Terrengformfaktoren er gitt som

$$c_o = \begin{cases} 1 & \Phi < 0.05 \\ 1 + 2s\Phi & 0.05 < \Phi < 0.3 \\ 1 + 0.6s & \Phi > 0.3 \end{cases}$$

Der

$$\Phi = \frac{H}{L_u}$$

$$L_e = \begin{cases} L_u & 0.05 < \Phi \le 0.3 \\ \frac{H}{0.3} & \Phi > 0.3 \end{cases}$$

I daler kan terrengformfaktoren settes lik 1,0 dersom det ikke forventes en hastighetsøkning som følge av traktvirkninger.

Ved tilnærmet flatt terreng er det antatt at terrengformen ikke påvirker vindhastigheten, i.e.

$$c_o = 1,0$$

S	Hjelpestørrelse i henhold til formlene gitt i EC1-1-4: A.3(5). Se underkapitler.
Φ	Helningen på losiden i vindretningen.
L <sub>e</sub>	Effektiv lengde på helningen på losiden i vindretning (se Tabell A.2).
$L_u$	Faktisk lengde (horisontalt) på helningen på losiden i vindretning. Se Figur A.1-3.
L <sub>d</sub>	Faktisk lengde (horisontalt) på helning på lesiden i vindretning. Se Figur A.3.
Н	Effektiv høyde på terrengformen.
x	Horisontal avstand fra stedet til toppen av høyden i terrenget.
	Positiv verdi betyr at byggested er på lesiden, og negativ betyr losiden.
Z	Vertikale avstanden fra bakkenivået på byggestedet (referansehøyde).

#### Loside

Hjelpestørrelsen er gitt som

$$s = \begin{cases} Ae^{\left(\frac{Bx}{L_u}\right)} & -1.5 \le \frac{x}{L_u} \le 0 \text{ og } 0 \le \frac{z}{L_e} \le 2\\ 0 & \frac{x}{L_u} < -1.5 \text{ eller} \frac{z}{L_e} > 2 \end{cases}$$

Der

$$A = 0,1552 \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124$$
$$B = 0,3542 \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \left(\frac{z}{L_e}\right) + 2,6456$$

Legg merke til at både Figur A.2 og Figur A.3 er relevant for denne beregningen.

#### Leside av klipper og skråninger

Hjelpestørrelsen er gitt som



$$s = \begin{cases} A\left(\log\left[\frac{x}{L_e}\right]\right)^2 + B\left(\log\left[\frac{x}{L_e}\right]\right) + C & 0.1 \le \frac{x}{L_e} \le 3.5 \text{ og } 0.1 \le \frac{z}{L_e} \le 2\\ 0 & \frac{x}{L_e} > 3.5 \text{ eller} \frac{z}{L_e} > 2 \end{cases}$$

Der

$$A = -1,3420 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right) - 0,0791$$
$$B = -1,0196 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right) - 0,1156$$
$$C = 0,8030 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 + 0,4236 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right) + 0,1606$$
$$\frac{z}{L_e} \ge 0,1$$

For området  $0 \le \frac{x}{L_e} \le 0,1$  interpoleres det mellom verdiene for  $\frac{x}{L_e} = 0$  (s = A i ligning A.5) og  $\frac{x}{L_e} = 0,1$ .

Se Figur A.2 for mer informasjon og detaljer.

#### Leside av åser og bakker

Hjelpestørrelsen er gitt som

$$s = \begin{cases} Ae^{\left(\frac{Bx}{L_d}\right)} & 0 \le \frac{x}{L_d} \le 2 \text{ og } 0 \le \frac{z}{L_e} \le 2\\ 0 & \frac{x}{L_d} > 2 \text{ eller} \frac{z}{L_e} > 2 \end{cases}$$

Der A er samme formel som for loside, og

$$B = -0,3056 \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 + 1,0212 \left(\frac{z}{L_e}\right) - 1,7637$$

Se Figur A.3 for mer informasjon og detaljer.



#### Terrengform i Norge

Terrengformfaktor og turbulensfaktor er gitt i følgende underkapitler. Faktorene beregnes basert på fire forskjellige betingelser for byggested:

- Tilnærmet flatt terreng.
  - I dette tilfellet benyttes  $c_o = k_I = 1,0$ .
- Høyereliggende område av en ås eller skråning med stigning på vindsiden av byggestedet.
   Beregning gjelder for byggested på både le- og loside.
- Lavereliggende byggested i le av ås eller skråning med største fall mindre enn 25°.
- Lesiden av en eller flere terrengformasjoner med største fall større enn 30°.

Merk at terrengformfaktoren skal vurderes for aktuelle retningssektorer.

#### Frittliggende ås eller skråning

Dersom byggestedet ligger over H/2 på en ås eller skråning beregnes terrengfaktoren med følgende formel. Merk at dersom H > 200m bør metoden vurderes nærmere.

$$c_o(z) = 1 + \Delta S_{z,maks} \left[ \frac{B/L_0}{B/L_0 + 0.4} \right] \left[ 1 - \frac{|x|}{k_{virk}L_H} \right] e^{-\left(\frac{az}{L_H}\right)}$$
$$B/L_0 \ge 0.5$$

For  $|x| \ge k_{virk}L_H$  gjelder ikke formelen, og programmet benytter da  $c_o = 1$  med en advarsel om at informasjon om ås eller skråning er utenfor gyldighetsområdet for beregning av terrengformfaktor.

Faktorene  $\Delta S_{z,maks}$ , *a* og  $k_{virk}$  er gitt i Tabell NA.4 (901.8), gjengitt under.

Terrengform på byggested	$\Delta S_{z,maks}$	а	$egin{array}{c} k_{virk} \ x < 0 \end{array}$	$egin{array}{c} k_{virk} \ x > m{0} \end{array}$
Ås	$2\frac{H}{L_H} \le 1$	3	1,5	1,5
Skråning	$1,8\frac{H}{L_H} \le 0,9$	2,5	1,5	4

For åser og skråninger benyttes en turbulensfaktor lik

$$k_{I} = 1,0$$

Dersom byggestedet i tillegg ligger på lesiden av bratt terreng (NA.4.3.3 (901.4)), kan terrengformfaktoren bestemmes som produktet av de to verdiene.

Н	Åsens største høyde målt i vindretning fra byggested.
x	Horisontal avstand (positiv vindretning) fra lokal topp av åsen eller skråningen til
	byggestedet.



Z	Lokal høyde over terrengnivået på byggestedet. For $z < z_{min}$ brukes $z = z_{min}$ dersom det er valgt av bruker.
$L_H$	Horisontal ås- eller bakkelengde målt fra nivået $0,5H$ på vindsiden av åsen til toppen av åsen $H$ .
В	Horisontal avstand fra åsens høyeste punkt langs en linje vinkelrett på vindvektorplanet $xz$ til et punkt der åsens høyde $H'$ over det omkringliggende terrenget er halvert.
L <sub>0</sub>	Horisontal lengde fra åsens høyeste punkt til et punkt på vindsiden der åsens største høyde, $H'$ , over det omkringliggende terrenget er halvert.

#### Lesiden av ås eller skråning

Dersom det angis at byggested er på lesiden av en ås eller skråning med moderat fall bruker programmet en terrengformfaktor og turbulensfaktor lik

$$k_{I} = 1,2$$

Det er opp til bruker selv å kontrollere at samtlige krav i NA.4.3.3(901.3.2) er oppfylt:

- Det gjennomsnittlige fallet for det skjermende terrenget på losiden av byggestedet for terrengarealer i siktelinjen fra byggestedet, motsatt vindretning, innenfor aktuell retningssektor, er mindre 25 grader.
- Horisontal avstand fra den skjermende åsen eller skråningens topp til byggestedet er mindre enn 15 ganger nivåforskjellen mellom de to punktene.
- Avstanden x (se NA.4.3.3 (901.2.1)) oppfyller kravet  $x > 1,5k_{virk}L_H$ .

#### Lesiden av bratt terreng

Ved byggested på lesiden av bratt terreng (>  $30^{\circ}$ ) kan terrengformfaktor og turbulensfaktor velges blant følgende kombinasjoner. Se EC1-1-4 punkt NA.4.3.3(901.4) og tilhørende figurer for mer informasjon.

Bratt, fallende terreng i vindretningen genererer særlig sterk turbulens på byggestedet. Dersom avstanden på losiden av byggestedet til det bratte terrenget er mindre enn 15H, bestemmes en gjennomsnittlig helningsvinkel. Dersom den er større enn  $30^{\circ}$  kan terrengformfaktor og turbulensfaktor hentes fra figurene NA.4 (901.5) og NA.4 (901.6).

Når denne terrengformen benyttes, krever NA.4.3.3(901.4), siste setning, at terrengkategori II skal benyttes. Programmet gir derfor en feilmelding dersom bruker angir noe annet. Dette inkluderer også eventuell overgangssone.

#### Modifisert terrengformfaktor

Dersom byggestedet ligger nær toppen av en ås eller skråning som selv ligger på lesiden av en annen ås eller skråning, benyttes en modifisert terrengformfaktor. Denne modifiseringen kan benyttes

$$c_0'(z) = 1 + [c_o(z) - 1]e^{-\left(\frac{12H_0^2}{HL}\right)}$$

For frittliggende ås eller skråning skal  $c'_0(z) \le c_o(z)$ . Dersom  $c_o$  er beregnet basert på EC1-1-4 kapittel NA.4.3.3(901.3.2) eller NA.4.3.3(901.4) blir derimot alltid  $c'_0(z) \ge c_o(z)$ , og det vil dermed være en konservativ vurdering dersom bruker velge å inkludere modifiseringen av terrengformfaktoren.

$c_o(z)$	Terrengformfaktor bestemt for byggestedet uten hensyn til eventuelle andre åser på vindsiden.
Н	Høyden i vindvektorplanet av åsen på byggestedet.
$H_0$	Høyden i vindvektorplanet av den skjermende åsen på vindsiden.
	Dersom åsen på vindsiden er høyere enn åsen på byggestedet, settes $H_0 = H$ .
L	Horisontal avstand mellom punktene $H$ og $H_0$ .

### Vindkasthastighet

Norconsult

Digital

uavhengig av valgt terrengform.

Vindkasthastigheten er gitt av følgende uttrykk.

$$v_p(z) = v_m(z)\sqrt{c_t(z)}$$

Der

$$c_t(z) = 1 + 7I_v(z)$$

Norsk tillegg:  $1 + 2k_p I_v(z)$ , der  $k_p = 3.5$ .

Turbulensintensiteten,  $I_{\nu}(z)$ , er definert i kapittel «Turbulensintensitet».

#### Turbulensintensitet

Turbulensintensiteten ved høyde z er definert som

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Norsk tillegg: Kan modifiseres ved overgangssoner. Se kapittel «Overgangssone i Norge».

Der  $\sigma_v$  er standardavviket gitt som

$$\sigma_v = k_r v_b k_I$$



## $k_{I} = 1,0$

Norsk tillegg: Verdi settes lik 1,0 dersom ikke annet følger av regler i NA. Se kapittel «Terrengform i Norge».

Setter vi inn for formlene kan turbulensintensiteten beregnes som følger for en høyde  $z_{min} \le z \le z_{max}$ . For høyder lavere enn  $z_{min}$  benyttes  $I_v(z) = I_v(z_{min})$ .

$$I_{v}(z) = \frac{k_{I}}{c_{o}(z)\ln\left(\frac{z}{z_{0}}\right)}$$

#### Overgangssone i Norge

Turbulensintensiteten kan påvirkes av endring i ruhet (overgangssoner) i henhold til EC1-1-4 NA.4.3.2(2) (901.2.2). Dette kan beregnes med følgende formel.

$$I_{v}(z) = \frac{I_{v,A}(z)v'_{m,A}(z)\left(1 - \frac{x_{B}}{10}\right) + I_{v,B}(z)v'_{m,B}(z)\frac{x_{B}}{10}}{v'_{m}(z)}$$

Der  $v'_m(z)$ ,  $v'_{m,A}(z)$ ,  $v'_{m,B}(z)$  og  $x_B$  er definert i kapittel «Overgangssone i Norge», og

$$I_{v,A}(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln\left(\frac{z}{z_{0,A}}\right)} = \frac{k_{r,A} v_b k_I}{c_o(z) v'_{m,A}(z)}$$

$$I_{v,B}(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln\left(\frac{z}{z_{0,B}}\right)} = \frac{k_{r,B} v_b k_I}{c_o(z) v'_{m,B}(z)}$$

Uttrykket for turbulensintensitet kan da skrives som

$$I_{v}(z) = \frac{\sigma_{v,AB}}{v_{m}(z)} = \frac{k_{r,AB}v_{b}k_{I}}{v_{m}(z)}$$

Der

$$k_{r,AB} = k_{r,A} \left( 1 - \frac{x_B}{10} \right) + k_{r,B} \frac{x_B}{10}$$

Middelvindhastighet i overgangssone,  $v_m(z)$ , er beregnet med terrengformfaktor (se kapittel «Overgangssone i Norge»). Vi ender altså opp med en enkel formel, tilsvarende formel (4.7) i EC1-1-4, for turbulensintensitet i overgangssone. Legg merke til at det er kun ruhet som interpoleres i formelen.

 $I_{v,A}$  Turbulensintensiteten for område A. Det antas at område B ikke er påvirket av A.

 $I_{\nu,B}$  Turbulensintensiteten for område B. Det antas at område B ikke er påvirket av A.

## Vindhastighetstrykk (EC1-1-4: 4.5)

Vindhastighetstrykk beregnes generelt som

$$q = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Der q er beregnet vindhastighetstrykk,  $\rho$  er luftens tetthet, og v er vindhastigheten. Vi kan da beregne vindhastighetstrykket basert på de forskjellige vindhastighetene. Basisvindhastighetstrykket er gitt som

$$q_b = \frac{1}{2}\rho v_b^2$$

Middelvindhastighetstrykket er

$$q_m(z) = \frac{1}{2}\rho v_m^2(z)$$

Og vindkasthastighetstrykket er gitt som

$$q_p(z) = \frac{1}{2}\rho v_p^2(z) = c_t(z)q_m(z)$$
  
Norsk tillegg:  $q_p(z) = [1 + 2k_p I_v(z)]q_m(z)$ , der  $k_p = 3.5$ .

Eksponeringsfaktoren beregnes som

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

Luftens densitet er avhengig av temperatur, høyde over havet og lufttrykket. Normalt benyttes  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ , men programmet vil gi brukeren mulighet til å overstyre denne verdien dersom det anses nødvendig å ta hensyn til effekter som temperatur, høyde over havet og/eller lufttrykket.

Norsk tillegg: Samme som standard.

## Formfaktorer for bygninger (EC1-1-4: 7.2)

Formfaktorer benyttes for å beregne overflatevindtrykket på bygninger. Programmet regner alltid med både innvendig og utvendig vindtrykk, som skal forutsettes å virke samtidig. Vi har formfaktorer for både det utvendige og innvendige vindtrykket. I dette programmet er kun rektangulære bygninger støttet.



Dersom minst to sider av bygningen har åpninger i hver side som er mer enn 30% av arealet av denne siden, skal vindpåvirkninger på konstruksjonen beregnes som frittstående tak og vegger (EC1-1-4: 7.2.9(2)).

Norsk tillegg: Samme som standard.

### Utvendig vindtrykk

Den utvendige formfaktoren er avhengig av størrelsen på det belastede arealet A som vindpåvirkningen skal beregnes for. Det vil si at arealet er definert som området innenfor den betraktede sonen. Faktoren beregnes som

$$c_{pe} = \begin{cases} c_{pe,1} & A \leq 1\text{m}^2 \\ c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A & 1m^2 < A < 10\text{m}^2 \\ c_{pe,10} & A \geq 10\text{m}^2 \\ & & \text{Norsk tillegg: Samme som standard.} \end{cases}$$

Der  $c_{pe,1}$  og  $c_{pe,10}$  er formfaktorer for areal på henholdsvis 1 og 10 kvadratmeter. Verdiene er gitt i tabellene 7.1 til 7.5 i EC1-1-4, avhengig av hvilken del og type av bygning som betraktes.

Merk at programmet beregner lasttilfeller for alle faktorene, slik at bruker har vindlaster for fasadeelementer på mindre enn 1 m<sup>2</sup> og for bærekonstruksjonen (større enn 10m<sup>2</sup>), samt et brukerdefinert areal A (mellom 1 og 10 m<sup>2</sup>).

Ved eventuelle takframspring er trykket på undersiden lik trykket for sonen på veggen ved takframspringet, og trykket på oversiden er lik trykket for sonen som er definert for taket.

Utvendig vindtrykk er avhengig av vindretning og vil fordeles over konstruksjonsdelen i aktuelle soner. Soneinndeling benytter en mellomberegningsverdi, gitt som

$$e = \min \left\{ \begin{matrix} b \\ 2h \end{matrix} \right\}$$

Der h er største mønehøyde på bygget (uten parapet), b er bygningens bredde målt på tvers av vindretning, og d er lengden på bygget målt i vindretning. Se underkapitler for mer informasjon om denne verdien og hvordan den benyttes for de forskjellige delene av en bygning.

Følgende taktyper er støttet i denne versjonen:

- Flatt tak
- Pulttak
- Sal- og trautak
- Valmtak

#### Vegger

Norconsult

Digital

Soneinndeling av veggene på en rektangulær bygning gjøres i henhold til Figur 7.5 i EC1-1-4, og formfaktorene for hver sone hentes fra Tabell 7.1.

Norsk tillegg: Samme som standard.



Dersom h/d > 5 benytter programmet verdiene som gjelder for h/d = 5, og det gis en advarsel. Merk at for høye slanke bygninger kan vindkrefter beregnes med kraftfaktor i henhold til kapittel «Konstruksjonsdeler».

#### <u>Referansehøyde</u>

For vertikale vegger er referansehøyden avhengig av sideforholdet, og kan variere i høyden. Dette gjøres i henhold til Figur 7.4 i EC1-1-4.



Merk at  $z_{min}$  kan påvirke vindtrykksintensiteten i de forskjellige vertikale sonene på veggen, og i praksis gi hele eller deler av veggen konstant intensitet også over z = b.

Vi har følgende vertikale soner:

- Dersom  $h \le b$ 
  - Referansehøyden er lik *h*, og trykket er konstant i høyden.
- Dersom  $b < h \le 2b$ 
  - Nederste sone med en referansehøyde lik *b*.
  - Øverste sone (resterende av veggen) har referansehøyde lik *h*.
  - Trykkene er konstant i de to sonene.



- Dersom h > 2b
  - Nederste sone med en referansehøyde lik *b*.
  - Øverste sone med referansehøyde lik *h*, med en lengde som nederste sone (*b*).
  - Resterende område i midten av veggen vil ha en kontinuerlig varierende intensitet over høyden.
    - Det er opp til bruker å velge hvor mange diskretiseringer som beregnes. Som standard vises kun én, der z = h b.

Merk at dette gjelder kun for vertikale veggen på losiden av bygningen (sone D). For lesiden og sideveggene benyttes en referansehøyde lik høyden på bygningen (h), med konstant trykk langs høyden til veggen.

Norsk tillegg: Soneinndeling langs høyden til veggen på losiden i henhold til Figur 7.4 gjelder for alle sider av bygningen.

#### Flate tak

Flate tak er definert som å ha en takvinkel på  $-5^{\circ} < \alpha < 5^{\circ}$ . Soneinndeling gjøres i henhold til Figur 7.6 i EC1-1-4, og formfaktorene for hver sone hentes fra Tabell 7.2. Resultantformfaktoren for en eventuell parapet bestemmes i henhold til EC1-1-4: 7.4.



Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.

Referansehøyden er gitt som

$$z_e = \begin{cases} h & \text{uten parapet} \\ h + h_p & \text{med parapet} \end{cases}$$

Formfaktorene er avhengig av takavslutning (se Tabell 7.2). Programmet støtter skarp takavslutning, med og uten parapet. Dersom takavslutning med parapet er valgt, vil det benyttes lineær interpolasjon for mellomliggende verdier av  $h_p/h$ . For  $h_p < 0.025h$  interpoleres det mellom verdiene for skarp takavslutning og verdiene for  $h_p = 0.025h$ . Høyden til parapeten er (basert på verdier i Tabell 7.2) begrenset til

$$h_p \leq 0,1h$$

Legg merke til at sone I har to verdier av formfaktoren (positiv og negativ). I henhold til Tabell 7.2 Merknad 3 skal begge verdier vurderes. Programmet gjør dette ved å generere lasttilfeller for hver av verdiene.

#### Pulttak

Norconsult

Digital

Soneinndeling gjøres i henhold til Figur 7.7 i EC1-1-4, og formfaktorene for hver sone hentes fra tabellene 7.3a og 7.3b. Referansehøyden er lik høyden til bygningen h. Merk at for pulttak er formfaktorene gitt for vindretningene  $\theta = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  og  $\theta = 180^\circ$ .

Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.



For vindretning  $\theta = 90^{\circ}$  og  $\theta = 180^{\circ}$  er alle formfaktorer negative, men for vindretning  $\theta = 0^{\circ}$  (for takvinkel opp til 45°) er det gitt både positive og negative verdier. I henhold til Tabell 7.3b, Merknad 1, skal det da vurderes to lasttilfeller – ett med kun positive verdier, og ett med kun negative verdier. Blanding av positive og negative verdier er ikke tillatt.

Lastilfelle med positive verdier $5^{\circ} < \alpha \le 75^{\circ}$ Lasttilfelle med negative verdier $5^{\circ} \le \alpha < 45^{\circ}$ 

Det benyttes lineær interpolasjon for mellomliggende takvinkler mellom verdier med samme fortegn (Tabell 7.3b, Merknad 2). Legg merke til at tabellen har lagt inn 0 der relevant for interpolasjonsberegning.

Dersom takvinkel er mindre enn 5° skal taket beregnes som flatt tak i henhold til EC1-1-4: 7.2.3. Ellers er takvinkel begrenset til følgende.

$$5^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$$

#### Sal- og trautak

Soneinndeling gjøres i henhold til Figur 7.8 i EC1-1-4, og formfaktorene for hver sone hentes fra tabellene 7.4a og 7.4b. Referansehøyden er lik høyden til bygningen h. Merk at for sal- og trautak er formfaktorene gitt for vindretningene  $\theta = 0^\circ$  og  $\theta = 90^\circ$ .

Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.





På samme måte som for pulttak vil vindretning  $\theta = 0^{\circ}$  gi både positive og negative formfaktorer på sal- og trautak med takvinkel  $-5^{\circ}$  til  $45^{\circ}$ . For hver side av takvinkel (loside og leside) skal det beregnes ett tilfelle med kun positive verdier og ett tilfelle med kun negative verdier. Så skal disse kombineres for opprettelse av totalt fire lasttilfeller.

I tabellen for takvinkel 5°, sone I, er det kun gitt negativ formfaktor. Dette gir lite mening da Merknad 1 sier tydelig at blanding av positive og negative verdier ikke er tillatt på samme side. Programmet benytter +0,2 for sone I når +0,2 brukes for sone J. Legg merke til at dette er også en endring som er gjort i kommende versjon av EC1-1-4.

Det benyttes lineær interpolasjon for mellomliggende takvinkler mellom verdier med samme fortegn (Tabell 7.4a, Merknad 2). I henhold til Merknad 2 har tabellen lagt inn 0 der relevant for interpolasjonsberegning. For takvinkel  $-15^{\circ}$  er det ikke lagt inn 0, selv om takvinkel  $-5^{\circ}$  har en positiv formfaktor større enn 0 (+0,2). For å gi fornuftige formfaktorer for takvinkler mellom  $-5^{\circ}$  og  $-15^{\circ}$  (interpolasjon) benytter programmet formfaktor 0 for sone I og J for takvinkel  $-15^{\circ}$ .

Dersom takvinkel er mellom  $-5^{\circ}$  og  $5^{\circ}$  skal taket beregnes som flatt tak i henhold til EC1-1-4: 7.2.3. Ellers er takvinkel begrenset til følgende.

$$-45^{\circ} \le \alpha \le 75^{\circ}$$

#### Valmtak

Soneinndeling gjøres i henhold til Figur 7.9 i EC1-1-4, og formfaktorene for hver sone hentes fra Tabell 7.5. Referansehøyden er lik høyden til bygningen h. Merk at for valmtak er formfaktorene gitt for vindretningene  $\theta = 0^{\circ}$  og  $\theta = 90^{\circ}$ . I Tabell 7.5 benyttes tilhørende takvinkel for de forskjellige vindretningene (se Figur 7.9). Takvinkel på losiden vil alltid styre formfaktorene.

Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.

 $\begin{array}{ll} \alpha_0 & \text{ for } \theta = 0^\circ \text{ og } \theta = 180^\circ \\ \alpha_{90} & \text{ for } \theta = 90^\circ \text{ og } \theta = 270^\circ \end{array}$ 





Legg merke til at sone M i Tabell 7.5 har tilsynelatende kun verdier for  $c_{pe,10}$ , og sone N har to kolonner for  $c_{pe,1}$ . Det er antatt det er en feil i tabellen og programmet bruker første kolonne i sone N som verdier for  $c_{pe,1}$  for sone M.

På samme måte som for pulttak beregnes det både positive og negative formfaktorer på losiden (sone F, G, og H) på valmtak med takvinkel 5° til 45°. Det benyttes lineær interpolasjon for mellomliggende takvinkler mellom verdier med samme fortegn (Tabell 7.5, Merknad 2). Legg merke til at tabellen har lagt inn 0 der relevant for interpolasjonsberegning.

I Merknad 1 i Tabell 7.5 er «ved  $\theta = 0^{\circ}$ » tolket til å være «på losiden». Programmet benytter derfor positive og negative verdier for  $\theta = 90^{\circ}$  også. Dette er konservativt, ved at programmet oppretter flere lasttilfeller, og det er opp til bruker hvilke lasttilfeller som benyttes videre.

Programmet støtter ikke takvinkler mindre enn 5°, da dette skal beregnes som flatt tak i henhold til EC1-1-4: 7.2.3. Ellers er takvinkel begrenset til følgende.

$$5^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$$

#### Innvendig vindtrykk

Beregning av innvendig vindtrykk er avhengig av areal og plassering av alle byggets mulige åpninger. Programmet støtter åpninger i fasader, mens åpninger i tak ikke er mulig. Ettersom åpninger i mange tilfeller kan være enten åpne eller lukket (f.eks. vinduer og dører), har vi for hver side av bygget både et største og et minste areal av mulige åpninger ( $A_{o,max}$  og  $A_{o,min}$ ). For hver vindretning beregnes en største og minste mulige indre formfaktor,  $c_{pi,max}$  og  $c_{pi,min}$ , ved å se på alle mulige kombinasjoner av arealer for hver av sidene på bygget (totalt 16 kombinasjoner).

For situasjoner uten dominerende fasade kan bruker velge mellom å manuelt angi en minimums- og maksimumsverdi i henhold til EC1-1-4: 7.2.9(6), Merknad 2, eller å beregne  $c_{pi}$  i henhold til EC1-1-4: 7.2.9(6). Dersom verdiene angis manuelt, anbefaler standarden å benytte følgende verdier:

$$c_{pi,max} = 0,2$$

Versjon 10.0



$$c_{pi,min} = -0,3$$

I denne situasjonen bruker programmet  $z_i$  som den største referansehøyden på bygingen ( $z_{e,max}$ ).

Resten av dette kapittelet beregner  $c_{pi}$  for en gitt vindretning, og ett bestemt areal på åpningene,  $A_{o,j}$ , og øverste punkt på åpningene,  $z_{e,o,j}$ , for hver av sidene (med indeks *j*).

Det innvendige trykket er avhengig om det er en dominerende fasade på bygningen. En fasade er normalt den dominerende når arealet på denne fasaden er minst to ganger arealet av åpninger i de andre fasadene (EC1-1-4: 7.2.9(4)).

$$\mu_{dom} = \frac{A_{o,j,max}}{A_o - A_{o,j,max}}$$

Der

$$A_{o,j,max} = \max(A_{o,j})$$
$$A_o = \sum A_{o,j}$$

1.

Dersom  $\mu_{dom} \ge 2$  skal siden med  $A_{o,j,max}$  regnes som dominerende, ellers skal innvendig vindtrykk beregnes uten dominerende fasade.

Det er antatt at det innvendige trykket virker på alle ytre fasader og tak samtidig, altså at partisjoner av innvendig bygning og skillevegger ikke påvirker innvendig trykk (EC1-1-4: 7.2.9(6), Merknad 1). Dette gjelder både med og uten en dominerende fasade.

Merk at åpninger i et bygg også inkluderer bakgrunnslekkasjer, som typisk utgjør 0,01% til 0,1% av arealet til fasaden (se merknad i punkt 7.2.9(2) i EC1-1-4). Merk også at programmet ikke inkluderer åpninger i tak, men at dette ofte kan tilnærmes godt ved å kompensere på angitte data for åpninger på hver av de 4 sidene.

For åpne siloer, skorsteiner og ventilerte tanker er det angitt egne verdier for  $c_{pi}$  i EC1-1-4: 7.2.9(8)). Dersom dette er relevant, bør bruker velge å angi  $c_{pi}$  manuelt, og overstyre med riktig verdi.

#### Dominerende fasade

For situasjoner med en dominerende fasade regnes innvendig formfaktor som

$$c_{pi} = c_{\mu}c_{pe,dom}$$

Der

$$c_{\mu} = 0.45 + 0.15 \mu_{dom} \le 0.9$$

Formfaktor for det utvendige trykket,  $c_{pe,dom}$ , hentes fra den dominerende fasaden. Bruker kan velge om denne skal beregnes som en arealveid gjennomsnittsverdi fra de ulike sonene på fasaden, eller om programmet skal beregne en  $c_{pi}$  for hver av de utvendige sonene. Sistnevnte løsning gir i praksis opphav til en  $c_{pi,min}$  og  $c_{pi,max}$  for den betraktede situasjonen, mens en arealveid gjennomsnittsverdi beregnes som

$$c_{pe,dom} = \frac{\sum c_{pe,dom,S} A_{dom,S}}{A_{dom}}$$

Der  $A_{dom,S}$  er arealet, og  $c_{pe,dom,S}$  den utvendige formfaktoren, for sone S på den dominerende fasaden, mens  $A_{dom}$  er fasadens totale areal.

Referansehøyden for det innvendige vindtrykket,  $z_i$ , settes lik  $z_{e,o}$  for den dominerende fasaden, i henhold til EC1-1-4 punkt 7.2.9(7).

#### Uten dominerende fasade

Uten dominerende fasade er beregning av  $c_{pi}$  basert på høydeforholdet h/d og åpningsforholdet  $\mu$  for hver vindretning (EC1-1-4: 7.2.9(6)). Åpningsforholdet beregnes som

$$\mu = \frac{A_o - A_{o,D}}{A_o}$$

Der  $A_{o,D}$  er arealet av åpninger i fasaden på losiden (fasaden der utvendig formfaktor hentes fra sone D). Dersom  $\mu < 0.33$  er åpningsforholdet utenfor gyldighetsområdet til standarden, og programmet gir en feilmelding.

Den innvendige formfaktoren beregnes i henhold til Figur 7.13, der det brukes lineær interpolasjon for mellomliggende verdier av høydeforholdet.

Referansehøyden for det innvendige vindtrykket,  $z_i$ , settes til den største  $z_{e,o}$  for fasadene som ved sine åpninger bidrar til å denne det innvendige trykket, i henhold til EC1-1-4 punkt 7.2.9(7). Her antas det at *positive* verdier på  $c_{pi}$  kommer som en følge av positive verdier på  $c_{pe}$ , og programmet benytter derfor den  $z_{e,o}$  som er angitt for fasaden på losiden av bygget (den eneste med positiv  $c_{pe}$ ). Tilsvarende vil  $z_i$  for *negative* verdier på  $c_{pi}$  settes lik største  $z_{e,o}$  for fasadene med negativ  $c_{pe}$ .



## **Resulterende formfaktorer**

Resulterende formfaktorer benyttes for å beregne største lokale vindtrykk på frittstående tak og vegger. Denne formfaktoren tar hensyn til vindtrykk på begge sider av overflaten, altså det beregnede vindtrykket er et nettotrykk.

## Frittstående tak (EC1-1-4: 7.3)

Et frittstående tak er definert som taket på en konstruksjon som ikke har permanente vegger. Her beregnes både totale kraftfaktorer som representerer resultantkraften, og resulterende formfaktor som representerer det største lokale trykket. Merk at denne formfaktoren tar hensyn til vind som virker på både over- og undersiden av frittstående tak. Referansehøyden settes lik h (se Figur 7.16 og Figur 7.17).

Plassering av resultantkraften gjøres i henhold til figurene 7.16 (pulttak) og 7.17 (saltak), der sentrum av trykket settes i en avstand d/4 fra losiden for pulttak og i senter av den enkelte takoverflate for saltak.

Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.

Figurene for soneinndeling i standarden viser overlappende områder for sone B og C. Programmet behandler disse som sone B. Dette er underbygget av figurer i kommende versjon av EC1-1-4.

Frittstående tak beregnes kun for én vindkasthastighet, som antas å gjelde for alle retninger. De resulterende formfaktorene er da oppgitt å gjelde uavhengig av vindretning (EC1-1-4 punkt 7.3(5)), mens beregnet vindkraft gjelder for vind på tvers av angitt takform (som vist f.eks. på Figur 7.15 i EC1-1-4).

For mellomliggende verdier i tabellene benyttes lineær interpolasjon, der det alltid interpoleres på blokkeringsgrad før eventuell interpolasjon på takvinkel. Merk at for saltak er takvinkler mellom -5 og 5 grader ikke støttet, da Tabell 7.7 i EC1-1-4 ikke angir noen verdier for disse. Det er antatt at samme begrensning gjelder her som for bygninger, at disse skal regnes som flate tak.

Merk at det ikke beregnes resulterende vindkraft for frittstående tak basert på vindtrykk, og følgelig vil det ikke beregnes friksjonskraft. Total vindkraft beregnes med kraftfaktor (friksjon er inkludert i faktor).

### Blokkeringsgrad

Faktorene er avhengig av grad av blokkering,  $\varphi$ , som er definert som forholdet av det sperrede arealet under taket dividert med tverrsnittsarealet under taket.

$$\varphi = \begin{cases} 0 & \text{uten blokkering} \\ 1 & \text{full blokkering på lesiden} \end{cases}$$

Programmet beregner resulterende formfaktor og kraftfaktor for både maksimum vindlast (uavhengig av blokkeringsgrad) og minimum vindlast for et utvalg av blokkeringsgrader.

#### Pulttak

Form- og kraftfaktor bestemmes for pulttak i henhold til Tabell 7.6 og Figur 7.16. Referansearealet for beregning av total vindkraft er arealet til hele taket, i.e.

$$A_{ref} = bd$$

$$d = \frac{d_g}{\cos(\alpha)}$$

Der  $d_q$  er den horisontale brukerdefinert bredden av frittstående tak parallelt med vinden.



#### Sal- og trautak

Form- og kraftfaktor bestemmes for saltak (og trautak) i henhold til Tabell 7.7 og Figur 7.17. Referansearealet for beregning av total vindkraft per sideflate er arealet til den aktuelle sideflaten. Programmet støtter kun symmetriske sal- og trautak, så referansearealet kan beregnes som

$$A_{ref} = \frac{bd}{2\cos(\alpha)}$$

I henhold til EC1-1-4: 7.3(6) skal frittstående sal- eller trautak dimensjoneres for én takflate med største eller minste last samtidig med at den andre takflaten er uten last, i tillegg til at lasten virker på begge takflatene samtidig (se også Figur 7.17).





## Frittstående vegger (EC1-1-4: 7.4)

For frittstående vegger, parapeter, rekkverk og skilt beregnes resultantformfaktoren  $c_{p,net}$ , og er avhengig av massivitetsforholdet (se kapittel «Massivitetsforholdet»). Et forhold mindre enn 0,8 vil gi feilmelding, da det skal behandles som fagverk. Merk at det ikke beregnes resulterende vindkraft for frittstående vegger, og følgelig vil det ikke beregnes friksjonskraft.

Programmet regner alltid på vind som kommer skrått inn på enden av veggen, som vist i Figur 7.19 i EC1-1-4. Både med og uten returhjørner er det viktig å være klar over at lastene som beregnes også vil kunne virke inn fra den andre siden av veggen, som følge av vind skrått ovenfra for vegger uten returhjørne, og rett ovenfra for vegger med returhjørne. Intensiteten til disse lastene vil være nøyaktig de samme, og blir derfor ikke særskilt beregnet av programmet.

Formfaktorer for vegger og parapeter er gitt i EC1-1-4: Tabell 7.9, der soneinndelingen er definert i Figur 7.19. Merk at faktoren er avhengig av massivitetsforholdet og om det er returhjørne eller ikke.



I Tabell 7.9 benyttes lineærinterpolasjon i 3 omganger for å finne  $c_{p,net}$ . Dette skjer i følgende rekkefølge:

- 1. Massivitetsforhold 1, uten returhjørne, interpoler på forholdet l/h.
- 2. Massivitetsforhold 1, med returhjørne med lengde < h, interpoler på lengden på returhjørnet mot verdi fra punkt 1.
- 3. Interpoler på massivitetsforhold mellom 0,8 og 1,0, der verdi for 1,0 hentes fra punkt 2.

Referansehøyden for frittstående vegger settes til h, og for parapeter i bygninger  $h + h_p$ .

Beregningene resulterer i 2 lasttilfeller.

Norsk tillegg: Samme som standard.

- Norconsult 💠
  - Tilfelle 1 ser på starten av veggen, og har sone A på venstre side.
  - Tilfelle 2 ser på slutten av veggen, og har sone A på høyre side.

Merk at begge lasttilfellene kan virke på den ene eller den andre siden av veggen, og må sånn sett tolkes som 4 lasttilfeller. Beregningene av tilfellene er uavhengig av hverandre, og utføres ved å betrakte vind som kommer skrått inn på den aktuelle enden av veggen, i henhold til Figur 7.19. Det er opp til bruker å vurdere eventuelle forsterkningseffekter som følge av returhjørne i begge ender av veggen.

Skjerming av frittstående vegg i henhold til EC1-1-4: 7.4.2 er ikke støttet i første omgang.

## Kraftfaktorer

Kraftfaktorer benyttes til å beregne resulterende vindkraft på en konstruksjon. Legg merke til at kraftfaktorer ikke har noen soneinndeling og at friksjonskrefter er inkludert i faktoren.

### Konstruksjonsdeler

Kraftfaktoren for konstruksjonsdeler er generelt gitt som

$$c_f = c_{f,0} \psi_r \psi_\lambda$$

Referansehøyden,  $z_e$ , er lik den største høyden over terrenget for det aktuelle tverrsnittet.

Referansearealet er gitt som

$$A_{ref} = lb$$

Merk at kapittel 7.2.2 Merknad 2 i EC1-1-4 åpner opp for at det kan beregnes vindkraft fra kraftfaktor for bygninger med h/d > 5.

$C_{f,0}$	Kraftfaktor uten fri omstrømning ved endene
$\psi_r$	Reduksjonsfaktoren for kvadratiske tverrsnitt med runde hjørner.
	For and e typer tverishit/konstruksjonsdeler benyttes $\psi_r = 1,0$ .
$\psi_\lambda$	Endeeffektfaktoren for konstruksjonsdeler (se kapittel «Endeeffektfaktor (EC1-1-4: 7.13)»).
l	Lengden på konstruksjonsdelen som vurderes.
b	Bredde av konstruksjonsdelens tverrsnitt på tvers av vindretning.
	For polygonale tverrsnitt er $b$ diameteren på den omskrevne sirkel (se Figur 7.26).
d	Bredde av konstruksjonsdelens tverrsnitt parallelt med vindretning.

#### Rektangulære tverrsnitt (EC1-1-4: 7.6)

Kraftfaktor,  $c_{f,0}$ , for rektangulære tverrsnitt med skarpe hjørner og uten fri omstrømning ved endene er gitt i Figur 7.23, der mellomliggende verdier beregnes med lineær logaritmisk interpolasjon.

Reduksjonsfaktoren,  $\psi_r$ , bestemmes i henhold til Figur 7.24 for kvadratiske tverrsnitt. Merk at tallene i figuren er relatert til forhold med lav turbulens, men de antas å være på sikker side.

Norsk tillegg: Samme som standard.

#### Skarpe kanter (EC1-1-4: 7.7)

For konstruksjonsdeler med skarpe kanter er kraftfaktoren gitt som

 $c_{f,0} = 2,0$ 

Norsk tillegg: Samme som standard.

#### Regulært polygonalt tverrsnitt (EC1-1-4: 7.8)

Kraftfaktor,  $c_{f,0}$ , for regulært polygonalt er gitt i Tabell 7.11.

Norsk tillegg: Samme som standard.

Viktige merknader til programmets håndtering av tabellen:

- Faktoren er avhengig av type overflate og hjørne (brukerdefinert), og Reynolds-tall, Re, der  $v = v_m$  (se kapittel «Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.1)»).
- Det opplyses ikke hvordan mellomliggende verdier for *Re* skal håndteres for åttekantede tverrsnitt. Programmet benytter her lineær interpolasjon mellom de oppgitte verdiene i tabellen.
- For tverrsnitt med 12 flater opplyses det ikke hvilken verdi som skal benyttes for  $Re = 4 * 10^5$ . Programmet benytter her  $c_{f,0} = 1,30$ .
- For tverrsnitt med minst 12 flater er mulig å havne utenfor tabellens gyldighetsområde med tanke på Reynolds-tall. Dette fører til en feilmelding på inndata, og støttes ikke av programmet.

### Sirkulære sylindere (EC1-1-4: 7.9)

Kraftfaktoren  $c_{f,0}$  er gitt i Figur 7.28. Merk at faktoren er avhengig av Reynolds-tall der  $v = v_p$  (se kapittel «Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.1)»). Merk at for flertrådete kabler skal man bruke  $c_{f,0} = 1,2$  for alle verdier av Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.2(3)). Dette må i så fall angis av bruker ved å overstyre  $c_{f,0}$  manuelt.

For  $Re < 10^5$  benyttes  $c_{f,0} = 1,2$ .

Ekvivalent overflateruhet, k, er gitt i Tabell 7.13. Merk at for gamle overflater kan det nasjonale tillegget overstyre overflateruheten, men for nye overflater benyttes Tabell 7.13 som i standardversjonen.

Norsk tillegg: (A1:2010) Antatt samme som standard.



For flertrådete kabler skal man bruke  $c_{f,0} = 1,2$  for alle verdier av Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.2(3)). Programmet tilbyr dette valget som en type overflate.

Legg merke til at for sylindere nær en plan flate er det nødvendig med spesielle undersøkelser (EC1-1-4: 7.9.2(6)). Dette er ikke hensyntatt i ISY Design.

### Spesielle konstruksjoner

#### Fagverk og stilas (EC1-1-4: 7.11)

Kraftfaktor for fagverkskonstruksjoner og stillaser med parallelle stenger er gitt som

$$c_f = c_{f,0} \psi_{\lambda}$$

Kraftfaktoren  $c_{f,0}$  beregnes for plane fagverk i henhold til EC1-1-4, punkt 7.11, Figur 7.33. Beregning av romlige fagverk (Figur 7.34) eller plane fagverk med staver med sirkulært tverrsnitt (Figur 7.35) er ikke støttet i denne versjonen av programmet.

Endeeffektfaktoren  $\psi_{\lambda}$  bestemmes etter reglene gitt i kapittel «Endeeffektfaktor (EC1-1-4: 7.13)». Merk her at faktoren beregnes med *l* og bredde *b* = *d* (se Figur 7.32).

For stillaser uten lufttette innrettinger og påvirket av luftstrømshindringer på grunn av massive bygninger kan en reduksjonsfaktor benyttes (EC-1-1-4, punkt 7.11, Merknad 2). Programmet tar ikke hensyn til dette, og det er opp til bruker å ta hensyn til denne.

Referansehøyden er lik den største høyden over terrenget for det aktuelle elementet, og referansearealet er gitt som

$$A_{ref} = A = \varphi dl$$

Der  $\varphi$  er massivitetsforholdet (se kapittel «Massivitetsforholdet» for mer informasjon).

*Skilt (EC1-1-4: 7.4.3)* Kraftfaktoren for vindkraft på skilt er gitt som

$$c_f = 1,80$$

Dersom  $z_g < h/4$  og b/h > 1 skal skiltet behandles som frittstående vegg.

Resultantkraften vinkelrett på skiltet har angrepspunkt i sentrum av skiltet med en horisontal eksentrisitet lik



$$e = \pm 0,25b$$

Norsk tillegg: Samme som standard.

For skilt er referansehøyde og -areal gitt med følgende formler.

$$z_e = z_g + \frac{h}{2}$$
$$A_{ref} = bh$$

Merk at instabiliteter på grunn av divergens og blafring bør undersøkes. Dette gjøres ikke i programmet.

h	Skiltets høyde.
b	Skiltets bredde.
$Z_g$	Skiltets avstand fra terrenget målt fra underkant.
е	Resultantkraftens horisontale eksentrisitet fra sentrum av skiltet.

#### Flagg (EC1-1-4: 7.12)

Kraftfaktorer for flagg beregnes i henhold til Tabell 7.15 i EC1-1-4. Referansehøyden er flaggets høyde over bakken (EC1-1-4: 7.12(2)). Programmet benytter tyngdepunktet til flagget, på samme måte som for skilt, altså

$$z_e = z_g + \frac{h}{2}$$

#### Fastspent flagg

Fastspent flagg har et referanseareal og kraftfaktor gitt som

$$A_{ref} = hl$$
  
 $c_f = 1.8$ 

Merk at det er kun rektangulært flagg som er støttet for fastspente flagg, og at vindkraften virker vinkelrett på flagget (planet).

h	Høyden på flagget.
l	Lengden på flagget.

#### <u>Løst flagg</u>

Løst flagg, enten rektangulært eller trekantet, omfatter dynamiske krefter fra effekten av at flagg blafrer. Kraftfaktoren er gitt som

$$c_f = 0.02 + 0.7 \frac{m_f}{\rho h} \left(\frac{A_{ref}}{h^2}\right)^{-1.25}$$

Der referansearealet er

$$A_{ref} = \begin{cases} hl & \text{for rektangulært flagg} \\ 0,5hl & \text{for trekantet flagg} \end{cases}$$

Legg merke til at for løst flagg så virker vindkraften i planet, altså i retning flagget blafrer.

$m_{f}$	Massen per arealenhet av flagget. Angis av bruker.
ρ	Lufttettheten (se kapittel «Vindhastighetstrykk (EC1-1-4: 4.5)»).

#### Generelle konstruksjoner

Referanseareal,  $A_{ref}$ , og kraftfaktor,  $c_f$ , angis av bruker, og det er derfor ingen behov for beregninger her.

### Reynolds-tall (EC1-1-4: 7.9.1)

Formfaktorer for tverrsnitt er avhengig av Reynolds-tallet, Re, og kan beregnes som

$$Re = \frac{bv(z_e)}{v}$$

Der  $v(z_e)$  er vindhastighet i referansehøyde  $z_e$ , b er bredden/diameteren, og v er den kinematiske viskositeten for luft ( $15 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ). Legg merke til at vindhastigheten ved beregning av Reynolds-tallet er normalt vindkasthastigheten  $v_p(z_e)$ , men i noen tilfeller skal middelvindhastighet  $v_m(z_e)$  benyttes (regulært polygonalt tverrsnitt).

### Endeeffektfaktor (EC1-1-4: 7.13)

Endeeffektfaktoren bestemmes som funksjon av et slankhetsforhold  $\lambda$ . Verdiene gitt i dette kapittelet er basert på målinger i vindstrøm med lav turbulens.

Norsk tillegg: Effekt av turbulens vurderes i det enkelte prosjekt.

Endeeffektfaktoren  $\psi_{\lambda}$  kan hentes fra Figur 7.36, og er avhengig av slankheten (Tabell 7.16) og massivitetsforholdet.

Norsk tillegg: De foreslåtte verdiene vurderes i det enkelte prosjekt.

Det utføres lineær logaritmisk interpolasjon mellom  $\lambda$  og  $\psi_{\lambda}$  for et gitt massivitetsforhold,  $\varphi$ . For mellomliggende verdier av massivitetsforholdet benyttes vanlig lineær interpolasjon.



For  $\lambda < 1,0$  gis en feilmelding (advarsel) på inndata, med informasjon om at man er utenfor gyldighetsområdet til Figur 7.36, og at verdiene for  $\psi_{\lambda}$  som gjelder for  $\lambda = 1,0$  vil bli benyttet. For  $\lambda > 200$  benyttes  $\psi_{\lambda} = 1,0$ .

#### Slankhet

Effektiv slankhet beregnes for  $l \le 15 m$  og  $l \ge 50 m$ , før  $\lambda$  beregnes basert på disse avhengig av konstruksjonens lengde, l.

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_{15} & l \le 15 \ m \\ \lambda_{50} & l \ge 50 \ m \end{cases}$$

For mellomliggende verdier av l benyttes lineær interpolasjon mellom  $\lambda_{15}$  og  $\lambda_{50}$ .

For alle konstruksjonstyper der konstruksjonen ikke har fri ende (Nr. 4 i Tabell 7.16) er slankheten gitt som

$$\lambda_{15} = \max\left(\frac{l}{b}; 70\right)$$
$$\lambda_{50} = \max\left(0, 7\frac{l}{b}; 70\right)$$

For tilfelle nr. 1-3 i Tabell 7.16 skilles det på tverrsnittstype. For polygonale, rektangulære og skarpkantede tverrsnitt og fagverkskonstruksjoner er slankheten gitt som

$$\lambda_{15} = \min\left(2,0\frac{l}{b};70\right)$$
$$\lambda_{50} = \min\left(1,4\frac{l}{b};70\right)$$

For sirkulære sylindere er slankheten gitt som

$$\lambda_{15} = \min\left(\frac{l}{b}; 70\right)$$
$$\lambda_{50} = \min\left(0, 7\frac{l}{b}; 70\right)$$

*Massivitetsforholdet* Massivitetsforholdet er gitt som

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

Der A er summen av projeksjonsarealet av stavene, og  $A_c$  er det samlede omsluttende arealet lb (se Figur 7.37).

Vi har at summen av projeksjonsarealene av stavene  $(b_i l_i)$  og knuteplatene  $(A_{gk})$  på flaten som er projisert vinkelrett på flaten er gitt som

$$A = \sum_{i} b_{i} l_{i} + \sum_{k} A_{gk}$$

I ISY Design angis massivitetsforholdet av bruker. Verdien benyttes i beregning av kraftfaktorer og endeeffektfaktorer for konstruksjonsdeler og fagverk/stillas. Merk at angitt massivitetsforhold normalt ikke påvirker referansearealet,  $A_{ref}$ , med unntak av for fagverk/stillas.

## Konstruksjonsfaktoren (EC1-1-4: 6)

Konstruksjonsfaktoren  $c_s c_d$  tar hensyn til vindpåvirkninger fra ikke-samtidige vindkasthastighetstrykk på overflaten ( $c_s$ ) og svingninger i konstruksjonen som følge av turbulens ( $c_d$ ). Faktoren kan deles inn i to separate faktorer.

Norsk tillegg: Konstruksjonsfaktoren består av produktet  $c_s c_d$ .

Konstruksjonsfaktoren kan settes til 1,0 dersom ett av følgende punkter gjelder (EC1-1-4: 6.2):

- Bygninger med høyde mindre enn 15 meter.
- Fasade og takelementer med egenfrekvens større enn 5 Hz.
- Rammekonstruksjoner med avstivende bærende vegger, lavere enn 100 meter og har en høyde mindre enn fire ganger bygningens dybde.
- Skorsteiner med sirkulære tverrsnitt med høyde mindre enn 60 meter og 6,5 ganger diameteren.

Bruker kan velge å angi faktoren manuelt eller beregne konstruksjonsfaktoren i henhold til detaljert prosedyre (EC1-1-4: 6.3). Merk at denne beregningen kan kun brukes dersom kravene i EC1-1-4: 6.3.1(2) er oppfylt.

- Konstruksjonen har én av hovedformene vist på Figur 6.1 i EC1-1-4.
  - Bare første egensvingeform i vindretningen er av betydning.
    - Denne svingeformen har konstant fortegn.

Faktoren er kun relevant dersom det skal beregnes vindkraft på en konstruksjon. Der det kun beregnes vindtrykk (bygninger og frittstående vegger) vil altså ikke konstruksjonsfaktoren være relevant. Der det beregnes vindkraft er det kun én vind som beregnes, så konstruksjonsfaktoren skal angis for denne vinden (retningen).

Konstruksjonsfaktoren er gitt som



$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)}$$

Verdiene  $k_p$ ,  $B^2 \text{ og } R^2$  beregnes etter tillegg B eller C, der tillegg B er anbefalt og derfor programmets standardvalg.

Norsk tillegg: Samme som standard, men uten et anbefalt valg.

Merk at ved norsk nasjonalt tillegg vil overgangssoner kunne justere turbulensintensiteten og middelvindhastigheten.

I tillegg vil det være mulig for bruker å sette faktoren til 1,0 dersom det ikke er nødvendig å ta hensyn til ikke-samtidige vindtrykk eller svingninger i konstruksjonen. Dersom det er ønskelig å angi faktoren selv, som for eksempel ved å benytte tillegg D i EC1-1-4, er dette også mulig.

Vurdering av brukerbarhet (EC1-1-4: 6.3.2) gjøres i henhold til tillegg B eller C. Merk at programmet ikke beregner eller kontrollerer dette.

Norsk tillegg: Samme som standard.

Konstruksjonsfaktoren trengs for følgende konstruksjonstyper, med de begrensninger / presiseringer som er listet opp under.

- Konstruksjonsdeler (rektangulære, skarpe, polygonale og sirkulære)
  - For horisontale konstruksjonsdeler: *h* settes til bredden på konstruksjonsdelens tverrsnitt, vist som *b* på Figur 7.23, mens *b* settes til konstruksjonsdelens lengde, *l*.
  - For vertikale konstruksjonsdeler byttes det om på *h* og *b*.
- Fagverk/stilas
  - For horisontale fagverk: *h* settes til *d* som vist på Figur 7.32, mens *b* settes til *l*.
  - For vertikale fagverk byttes det om på h og b.
- Skilt
- *h* og *b* benyttes uendret, som definert i Figur 7.21.
- Frittstående tak, flagg og generelle konstruksjoner
  - Programmet tilbyr ikke beregning av konstruksjonsfaktoren, og bruker må selv angi denne dersom den er ulik 1,0.

$Z_S$	Referansehøyden for konstruksjonsfaktor (se kapittel «Referansehøyde»)
$I_v$	Turbulensintensitet (se kapittel «Turbulensintensitet»)
$B^2$	Bakgrunnsfaktor (se kapittel «Bakgrunnsfaktor»)
$R^2$	Responsfaktor (se kapittel «Responsfaktor»)
$k_p$	Toppfaktor (se kapittel «Toppfaktor»)

### Referansehøyde

Referansehøyde for konstruksjonsfaktoren er gitt i Figur 6.1 i EC1-1-4. Programmet antar at en konstruksjonsdel som er angitt å være horisontal har svingeform som en parallell oscillator. Det er også antatt at  $z_s$  skal inkludere avstanden til terreng også for vertikale konstruksjonsdeler, til tross for at dette ikke er vist spesifikt i Figur 6.1. Skilt vurderes alltid å være i siste kategori i Figur 6.1

(«små konstruksjoner»), mens alle andre konstruksjonstyper beregnes som en av de to første typene (vertikale eller horisontale konstruksjoner) uavhengig av faktisk størrelse. Det er opp til bruker å overstyre  $z_s$  dersom noe annet skulle være tilfellet for sin konstruksjon.

Programmet benytter følgende

 $z_s = \begin{cases} 0,6h+h_1 & \text{vertikale konstruksjoner} \\ 0,5h+h_1 & \text{horisontale konstruksjoner og skilt} \end{cases}$ 

Der  $z_s \ge z_{min}$ .

$Z_S$	Referansehøyden i henhold til Figur 6.1 i EC1-1-4.
Z <sub>min</sub>	Minimumshøyde (se kapittel «Terrengruhet»)
h	Vertikal høyde av konstruksjon (z-akse)
$h_1$	Høyde over terreng til konstruksjonsdel, se Figur 6.1 i EC1-1-4

### Turbulenslengdeskala

Turbulenslengdeskala (gjennomsnittlige vindkaststørrelsen) for referansehøyde  $z_s$  er gitt som

$$L_s = L_t \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^{\alpha}$$

Der

$$z_s \ge z_{min}$$
  
 $z_t = 200 \text{m}$   
 $L_t = 300 \text{m}$ 

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$$

Symbol	Enhet	Beskrivelse
L <sub>s</sub>	m	Turbulenslengdeskala for referansehøyden $z_s$
$Z_0$	m	Ruhetslengde
Z <sub>min</sub>	m	Minimumshøyde

## Spektral tetthetsfunksjon

Den spektrale tetthetsfunksjonen for referansehøyde  $z_s$  og egenfrekvensen  $n_1$  er gitt som



$$S_{L,1s} = \frac{6.8f_{L,1,s}}{\left(1 + 10.2f_{L,1,s}\right)^{5/3}}$$

Der

$$f_{L,1,s} = \frac{n_1 L_s}{v_m(z_s)}$$

Symbol	Enhet	Beskrivelse
$S_{L,1s}$	-	Spektrale tetthetsfunksjon for referansehøyden $z_s$ og egenfrekvens $n_1$
$f_{L,1,s}$	-	Dimensjonsløs frekvens for referansehøyden $z_s$ og egenfrekvens $n_1$
$v_m(z_s)$	m/s	Middelvindhastighet i referansehøyden $z_s$

### Bakgrunnsfaktor

Bakgrunnsfaktoren tar hensyn til mangelen på full korrelasjon av trykket på konstruksjonsoverflaten. Faktoren er beregnet for referansehøyde  $z_s$ .

#### Tillegg B

I tillegg B er faktoren gitt som

$$B^{2} = \frac{1}{1 + 0.9 \left(\frac{b+h}{L_{s}}\right)^{0.63}}$$

*Tillegg C* I tillegg C er faktoren

$$B^{2} = \frac{1}{1 + \frac{3}{2}\sqrt{\left(\frac{b}{L_{s}}\right)^{2} + \left(\frac{h}{L_{s}}\right)^{2} + \left(\frac{bh}{L_{s}^{2}}\right)^{2}}}$$

#### Responsfaktor

Responsfaktoren tar hensyn til turbulens i resonans med aktuell vibrasjonsfrekvens for konstruksjon. Faktoren er beregnet for referansehøyde  $z_s$  og egenfrekvensen  $n_1$ .

#### Tillegg B

Faktoren kan beregnes som

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_{L,1,s} R_h R_b$$

Der  $\delta$  er det totale logaritmiske dekrement av demping, og  $R_h$  og  $R_b$  er aerodynamiske admittansfunksjoner, gitt som

$$R_{h} = \frac{1}{\eta_{h}} - \frac{1}{2\eta_{h}^{2}} (1 - e^{-2\eta_{h}})$$
$$R_{b} = \frac{1}{\eta_{b}} - \frac{1}{2\eta_{b}^{2}} (1 - e^{-2\eta_{b}})$$

Der

Norconsult •

Digital

$$\eta_h = \frac{4.6h}{L_s} f_{L,1,s}$$

$$\eta_b = \frac{4,6b}{L_s} f_{L,1,s}$$

I tillegg gjelder  $R_h = 1$  for  $\eta_h = 0$  og  $R_b = 1$  for  $\eta_b = 0$ , til tross for at dette virker å være en situasjon som ikke kan oppstå.

## Tillegg C

Faktoren er gitt som

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_{L,1,s} K_{1,s}$$

Der  $\delta$  er det totale logaritmiske dekrement av demping, og størrelsesreduksjonsfunksjonen kan regnes som

$$K_{1,s} = \frac{1}{1 + \sqrt{(G_y \phi_{y,1})^2 + (G_z \phi_{z,1})^2 + (\frac{2}{\pi} G_y G_z \phi_{y,1} \phi_{z,1})^2}}$$
$$\phi_{y,1} = \frac{11,5bn_1}{v_m(z_s)}$$
$$\phi_{z,1} = \frac{11,5hn_1}{v_m(z_s)}$$



Konstantene  $G_y$  og  $G_z$  avhenger av svingeform, og er gitt i Tabell C.1 i EC1-1-4, gjengitt i tabellen under. Bruker angir både horisontal ( $G_y$ ) og vertikal ( $G_z$ ) svingeform.

Svingeform	Jevn	Lineær	Parabolsk	Sinusformet
G	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^{2}$

## Toppfaktor

Forholdet mellom maksimumsverdien av den flukterende delen av responsen og dens standardavvik, toppfaktoren, bestemmes med følgende uttrykk. Selv om metoden står beskrevet i tillegg B, angir punkt C.2(3) at den også skal benyttes for tillegg C.

$$k_p = \sqrt{2\ln(vT)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(vT)}} \ge 3$$

Der

$$T = 600 s$$

$$v = n_1 \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \ge 0,08 \text{ Hz}$$

Symbol	Enhet	Beskrivelse
Т	S	Midlingstid for middelvindhastighet, $T = 600s$
v	Hz	Oppkryssingsfrekvens

## Vindpåvirkninger (EC1-1-4: 5)

Vindpåvirkninger virker som trykk direkte på utvendige flater av en lukket konstruksjon. Kan også virke indirekte på innvendige flater på grunn av utetthet. Vindtrykk resulterer i krefter normalt på overflaten av konstruksjonen. Vindpåvirkningen angis ved et forenklet samlet sett med trykk (EC1-1-4: 3.2), og klassifiseres som variable bundne påvirkning (EC1-1-4: 3.3). Merk at vindpåvirkningene som beregnes i programmet er karakteristiske verdier (EC1-1-4: 3.4).

De aktuelle vindpåvirkningene skal bestemmes for hver dimensjoneringssituasjon i samsvar med EN 1990. Merk at der det kan forutsettes at vinduer og dører er lukket ved storm, kan tilfelle med disse i åpen tilstand behandles som en ulykkesdimensjoneringssituasjon (EC1-1-4: 2(4)).

Merk at kapittel 7.2.2 Merknad 2 i EC1-1-4 åpner opp for at det kan beregnes vindkraft fra kraftfaktor for bygninger med h/d > 5. Programmet legger ikke opp til dette, men det er selvfølgelig mulig for bruker å selv regne en bygning som en konstruksjonsdel.

## Vindtrykk på overflater (EC1-1-4: 5.2)

Vindtrykket på utvendige flater er gitt som

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe}$$

Vindtrykket på innvendige flater er gitt som

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi}$$

Netto vindtrykk er gitt som

Norconsult

Digital

 $w_{net} = w_e - w_i$ 

Trykk rettet mot overflaten angis med positivt fortegn, og sug angis med negativt fortegn (EC1-1-4: 5.2(3)). Et positivt innvendig trykk vil altså motvirke et positivt utvendig trykk, men forsterke et negativt utvendig trykk.

For en gitt vindretning beregnes et sett med ulike utvendige trykk. Hver av disse situasjonene kombineres igjen med et største og et minste innvendige trykk.

Ved beregning av vindtrykk med resulterende formfaktorer (frittstående tak og vegg) så beregnes nettotrykket direkte, i.e.

$$w_{net} = q_p(z_e)c_{p,net}$$

$q_p(z_e)$	Utvendig vindkasthastighetstrykk
$q_p(z_i)$	Innvendig vindkasthastighetstrykk
Ze	Referansehøyden for det utvendige trykket
Zi	Referansehøyden for det innvendige trykket.
Cpe	Formfaktor for det utvendige trykket
$c_{pi}$	Formfaktor for det innvendige trykket
C <sub>p,net</sub>	Resulterende formfaktor

### Vindkrefter (EC1-1-4: 5.3)

I ISY Design beregnes vindkraft kun med kraftfaktor. Det kan beregnes en total vindkraft basert på vindtrykkene med vektoriell summering og friksjonskraft, men dette gjøres ikke av programmet.

Vindkraften som virker direkte på en konstruksjon eller konstruksjonsdel er gitt som

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z_e) A_{ref}$$



Eventuelt kan kraften bestemmes ved vektoriell summering av de enkelte konstruksjonsdelene, i.e.

$$F_w = c_s c_d \sum c_f q_p(z_e) A_{ref}$$

Merk at kraftfaktorer omfatter også friksjonskrefter.

$C_s C_d$	Konstruksjonsfaktor (se kapittel «Konstruksjonsfaktoren (EC1-1-4: 6)»)
$C_{f}$	Kraftfaktor (se kapittel «Kraftfaktorer»)
A <sub>ref</sub>	Referanseareal (se kapittel «Kraftfaktorer»)
$q_p(z_e)$	Vindkasthastighetstrykk for aktuelle vindretning i referansehøyde $z_e$ (se kapittel
	«Vindhastighetstrykk (EC1-1-4: 4.5)»)