

Brukerdokumentasjon

# ISY Design Stålbjelke

# Norconsult Digital

**Norconsult Digital AS**

Kjørboveien 16  
1337 SANDVIKA

**Sentralbord:** 67 57 15 00

**Brukerstøtte:** 02467

**E-post:** [isydesign@norconsultdigital.no](mailto:isydesign@norconsultdigital.no)

**Hjemmeside:** <https://norconsultdigital.no>

© Copyright 2012-2024 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

<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>i</b>
<b>Introduksjon</b>	<b>4</b>
Funksjon.....	4
Lisensmodell .....	4
Installasjon og lisensiering.....	4
Support .....	5
Brukerveiledninger .....	5
<b>Brukergrensesnitt</b>	<b>6</b>
Verktøylinje.....	6
Fil.....	6
Hjemme .....	6
Utseende.....	6
Navigasjonsmeny .....	6
Meldingsliste.....	7
Validering av inndata .....	7
Koordinatsystemer .....	7
<b>Praktisk bruk</b>	<b>8</b>
Beregningsinnstillinger .....	8
Modellering av stålbjelke.....	9
Stabilitetsgrunnlag.....	11
Kapasitetskontroll .....	12
Inspeksjon av enkeltsnitt .....	13
Forenklet inspeksjon av enkeltsnitt.....	13
Forskjell i resultater .....	13
Lastsituasjoner (lastgrupper) .....	14
Ledd .....	14
Utkragere .....	14
Felt .....	14
Knutepunkt .....	15
Én-akset beregning uten normalkrefter .....	15
<b>Teorigrunnlag</b>	<b>16</b>
Generelt .....	16
Andre brukerveiledninger.....	16
Beregninger.....	16

Materialdata .....	16
Statikkberegning.....	17
Nedbøyninger.....	17
Geometrisk avvik (EC3-1-1 5.3) .....	17
Bueformet lokalt formavvik .....	18
Global skjevstilling.....	19
Fortegn .....	19
Noder som skal dimensjoneres .....	20
Dimensjonerende snittkrefter .....	20
Stabilitetskontroll .....	20
Forenklet beregning .....	21
Inspeksjon av enkeltsnitt.....	21
Spenningskontroll.....	22
Stabilitetskontroll .....	22
Generelt om beregningene av stabilitet .....	23
Stavdata.....	23
Valg av 1. eller 2. ordens analyse .....	25
Kontinuerlig sideveis avstivning .....	26
Knekking .....	26
Vipping.....	26
Interaksjon (EC3-1-1 6.3).....	27
Branndimensjonering .....	29
<b>Begrensninger</b> .....	<b>30</b>
Usymmetriske tverrsnitt i Stålbjelke .....	30
Elastisk skjærspenningsfordeling .....	30
Tverrkrefter .....	30
Felt med varierende tverrsnitt .....	31
Optimalt tverrsnitt .....	31
<b>Versjonshistorikk</b> .....	<b>32</b>
Versjon 1.0.....	32
Versjon 1.0.2.....	32
Versjon 1.1.....	32
Versjon 1.2.....	32
Versjon 1.2.1.....	32
Versjon 1.2.2.....	32
Versjon 1.2.3.....	33
Versjon 1.3.....	33
Versjon 1.3.1.....	33

Versjon 1.3.2 .....	33
Versjon 1.3.3 .....	33
Versjon 1.3.4 .....	33

# Introduksjon

## Funksjon

ISY Design Stålbjelke er et verktøy for styrkeanalyse og dimensjonering av stålbjelker. Under er en skisse av nøkkelfunksjonaliteten.

- ▶ Dimensjonering av stålbjelker i henhold til gjeldende standarder.
  - Full spennings- og stabilitetskontroll.
  - Støtte for alle tverrsnittsklasser (1, 2, 3 og 4). Beregner effektivt tverrsnitt i klasse 4.
  - Branndimensjonering.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall forskjellige tverrsnitt, hvor brukeren gir inn tverrsnittsparemetere.
- ▶ Kan, fra et utvalg av tverrsnitt, beregne det optimale tverrsnittet for å ta opp de påførte kreftene.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall oppleggstyper og fjær.
- ▶ Støtte for forskjellige tverrsnitt innenfor samme felt.
  - Merk at stabilitetskontroll krever *like* tverrsnitt innenfor samme felt.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall lasttilfeller og lastkombinasjoner, inkludert lasttog.
- ▶ Støtte for punktlaster, linjelaster, moment og tvungne forskyvninger.
- ▶ Generering av lastkombinasjoner i henhold til laststandarden.
- ▶ Beregning av snittkrefter, forskyvninger og oppleggsreaksjoner.
- ▶ Grafisk visning av resultater.
- ▶ Utskrift av rapport med oppsummering av modellen og presentasjon av beregningsresultatene.

## Lisensmodell

Alle moduler i ISY Design finnes i utgangspunktet i to versjoner – Standard og Enterprise. Standardversjonen av ISY Design Stålbjelke erstatter ISY G-Prod Stålbjelke, mens Enterprise-versjonen erstatter ISY G-Prod Avansert Stålbjelke.

Utvidelsene i Enterprise i forhold til Standard for ISY Design Stålbjelke er disse:

- ▶ To-akset beregning (y og z)
- ▶ Krefter i x-retning, inkludert 2. ordens effekter
- ▶ Ledd
- ▶ Tvungne knutepunktsforskyvninger
- ▶ Lasttog
- ▶ Lastsituasjoner (lastgrupper)
- ▶ Flere nasjonale tillegg (Standardversjonen har ett valgfritt tillegg, mens Enterprise har norsk, svensk, dansk og finsk.)

Ta kontakt med Norconsult Digital for å få tilgang til Enterprise-versjonen.

## 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](mailto: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.

## Bruerveiledninger

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

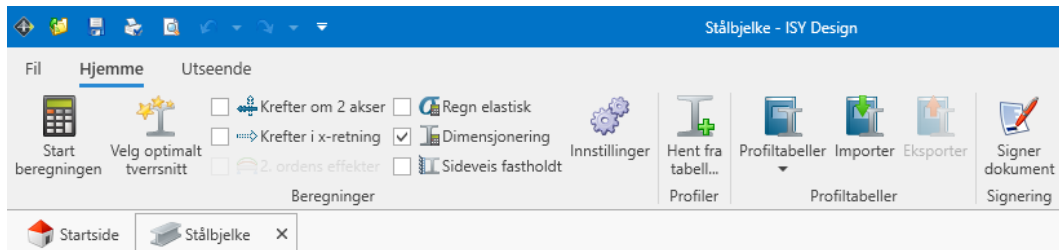
- ▶ Brukermanual ISY Design Generelt;
- ▶ Brukermanual ISY Design Ståltverrsnitt;
- ▶ Brukermanual ISY Design Statikkbjelke;

# Brukergrensesnitt

Det innledes med å beskrive et begrenset utvalg av detaljer fra programmet. For en mer utfyllende liste henvises det til "Brukermanual ISY Design Generelt".

## Verktøylinje

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



## Fil

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

## Hjemme

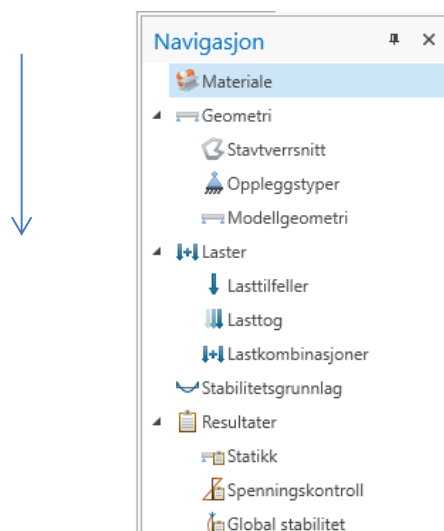
Her vises alle muligheter du har for å legge inn og endre data. Innholdet varierer, slik at det er tilpasset hva som vises i skjermbildet. Merk at i gruppen for beregninger ligger knappen «Innstillinger» som gir deg muligheten å editere beregningsinnstillinger.

## Utseende

Her kan du påvirke hva som vises og hvordan det blir vist. Også her varierer innholdet, men en del ting er felles.

## Navigasjonsmeny

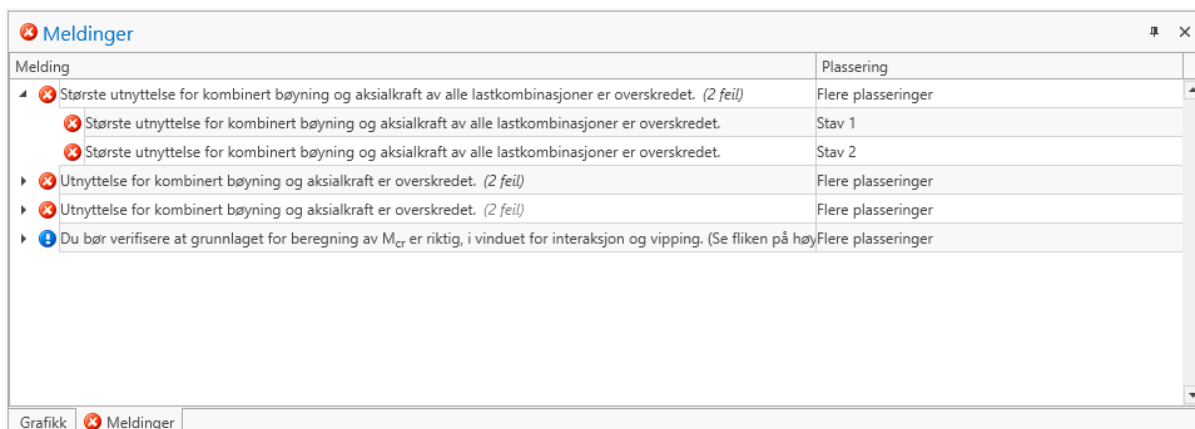
Navigasjonsmenyen (se figuren under) gir tilgang til hele modellen og alle beregningsresultatene. Det er lagt opp til at du skal kunne følge denne fra toppen og nedover.





## Meldingsliste

Skulle det vise seg at modellen ikke tåler de påførte kreftene eller at 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.



Melding	Plassering
Største utnyttelse for kombinert bøyning og aksialkraft av alle lastkombinasjoner er overskredet. (2 feil)	Flere plasseringer
Største utnyttelse for kombinert bøyning og aksialkraft av alle lastkombinasjoner er overskredet.	Stav 1
Største utnyttelse for kombinert bøyning og aksialkraft av alle lastkombinasjoner er overskredet.	Stav 2
Utnyttelse for kombinert bøyning og aksialkraft er overskredet. (2 feil)	Flere plasseringer
Utnyttelse for kombinert bøyning og aksialkraft er overskredet. (2 feil)	Flere plasseringer
! Du bør verifisere at grunnlaget for beregning av $M_{Cr}$ er riktig, i vinduet for interaksjon og vipping. (Se filen på høyre side)	Flere plasseringer

For å gi bedre oversikt er meldinger som fremkommer 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 vinduet hvor meldingen oppstod.

## Validering av inndata

Valideringen av inndata kan gi opphav til infomeldinger, advarsler og feil, hvorav de siste gjør at modellen ikke kan beregnes. Å dobbeltklikke på feilmeldingen fører deg til det skjermbilde hvor feilen finnes. Noen ganger kan det være autoberegnete data som gir en slik feil. Brukere av programmet forventes å ha nok kjennskap til teorigrunnlaget til å forstå hvilke inndata som må korrigeres for at autoberegningen ikke skal gi feilmeldinger. Et eksempel er de C-faktorer som benyttes for interaksjonsberegning etter tillegg A. En trykkraft som overskrider Eulerlasten for den aktuelle staven kan gi disse en verdi som ligger utenfor de tillatte grensene.

## Koordinatsystemer

Modellen ligger i det globale x-y-z-systemet, med bjelken orientert langs x-aksen. Hver stav kan ha ulik rotasjon av sine lokale koordinatsystemer (u-v og y'-z'). Hovedaksene (u-v) til tverrsnittet i hver enkelt stav skal alltid ligge orientert i det globale aksesystemet (men de kan være rotert med 90-graders vinkler i forhold til hverandre). Lasttilfeller (og lasttog) angis primært i det globale koordinatsystemet. Dersom alle staver har samme vinkel på sine hovedakser er det mulig å angi lastene i tverrsnittenes lokale koordinatsystem. Kraftene vil i så fall angripe langs med steg og flenser i f.eks. et L-profil, og ligger da i koordinatsystemet som brukermanualen til Ståltverrsnitt omtaler som «hor-vert».

For mer informasjon om fortegn, koordinatsystemer og implikasjoner av dette se brukermanalene til Statikkbjelke og Ståltverrsnitt.

# Praktisk bruk

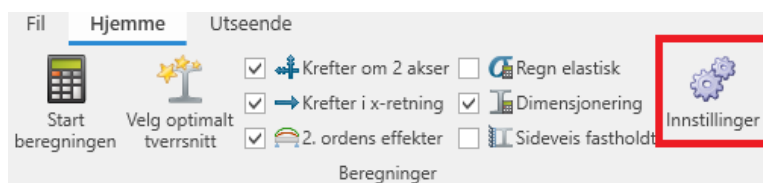
Her gjennomgås noen typiske brukstilfeller. For hvert steg beskrives et utvalg av muligheter i programmet. Eksempelene dekker ikke alt, men de skal være tilstrekkelige til at du forstår resten selv. Merk at detaljene i skjermutklippene kan avvike noe fra det du ser i programmet.

For mer informasjon om praktisk bruk se andre brukermanualer:

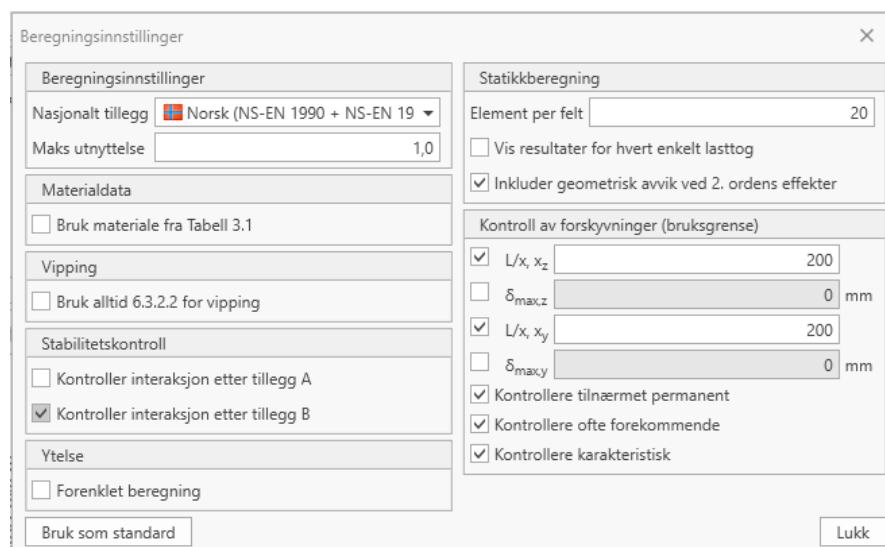
- ▶ Brukermanual ISY Design Ståltverrsnitt
  - Utvelgelse av tverrsnitt
  - Opprette og editere egendefinerte tverrsnitt
  - Profiltabell
  - Overskrive autoberegnete verdier
  - Geometriske begrensninger
  - Kritisk temperatur
- ▶ Brukermanual ISY Design Statikkbjelke
  - Retninger og fortegn
  - Beregning om to akser og normalkrefter
  - Generering av lastkombinasjoner
- ▶ Brukermanual ISY Design Generelt

## Beregningsinnstillinger

1. Åpne vinduet med de avanserte beregningsinnstillingene.

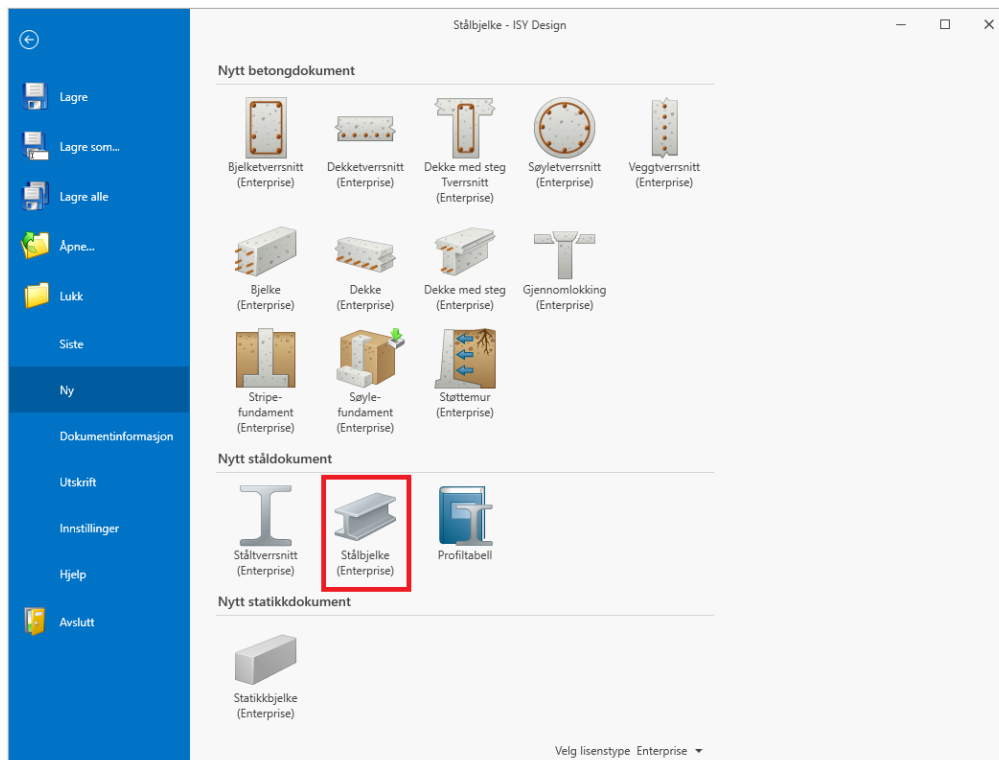


2. Velg innstillinger. Sjekk at de ønskelige innstillingene er huket av eller endre til ønskede innstillinger. Her kan du blant annet angi om du ønsker å bruke tillegg A, B eller begge i stabilitetskontrollen. Henvisningene i denne dialogen er til Eurokode 3 del 1-1.



## Modellering av stålbejelke

1. Opprett et nytt stålbejelkedokument, som vist i figuren.

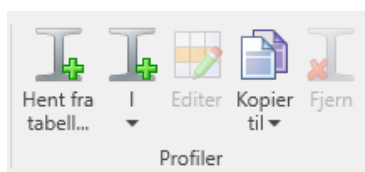


2. Legg inn materialdata for stålsorten (følg navigasjonsmenyen).

3. Legg inn geometridata

**Hint:** Det er mest praktisk å velge aktuelle tversnittstyper og eventuelle egendefinerte oppleggstyper først.

- ▶ Legg til tversnitt. Enten ved å opprette et nytt profil eller ved å importere ett eller flere eksisterende profiler fra en profiltabell. Vil du legge til flere profiler til dokumentet ved en senere anledning finner du «Hent fra tabell ...» på verktøylinjen. Det er også mulig å kopiere og editere profiler via verktøylinja.



- ▶ I Stålbejelke er det også mulig å velge et tversnitt som «favoritt» ved trykke på stjernen i samme rad. Dette tversnittet blir satt på nye staver automatisk.

Navn	Sve	Høyde [m]	Bredde [mm]	Tilg.	Fav
HEA	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
HE 160 A	<input type="checkbox"/>	152	160	<input checked="" type="checkbox"/>	
HE 240 A	<input type="checkbox"/>	230	240	<input checked="" type="checkbox"/>	
HE 320 A	<input type="checkbox"/>	310	300	<input checked="" type="checkbox"/>	★

- ▶ Definer eventuelle oppleggstyper (se brukermanual for ISY Design Statikkbjelke).

#### 4. Modellgeometri

- ▶ Definer geometrien til din bjelke/søyle.
  - Du kan endre både stavlengder og knutepunktskoordinater som du ønsker.
  - Du kan også plassere og flytte knutepunkter grafisk, og endre feltlengder.
- ▶ Evt. endre  $k$ - og  $N_{cr}$ -verdier dersom du ønsker det. Legg merke til at kritiske normalkrefter kan bare endres dersom du regner med krefter i x-retning.

#### 5. Laster

- ▶ Definer de lasttilfeller som skal inngå.
- ▶ Hvis du skal bruke lasttog defineres de på tilsvarende måte.
- ▶ Angi de laster som skal inngå i hvert lasttilfelle.
  - Numerisk innleggelse: Bruk tabellen.
  - Grafisk innleggelse: Velg *Punktlast/Linjelast* som verktøy (høyre figur) og klikk i bjelketegningen.



- ▶ Hvis du velger brukerdefinert som kategori, kan du gi inn  $\Psi$ -faktorene etter eget ønske. Ellers er de forhåndsdefinert i henhold til tabell NA.A.1.1 i EN-1990.
- ▶ Det er kun mulig å angi foreskrevne forskyvninger i de retninger hvor det aktuelle knutepunktet er låst.
- ▶ Du kan også velge å angi lasttilfellene i lokale tverrsnittsakser dersom du regner med krefter om 2 akser og alle tverrsnitt i hele modellen har samme roterte hovedakse.

#### 6. Lastkombinasjoner

- ▶ Ved å generere lastkombinasjoner får du laget alle kombinasjoner av de aktuelle lasttilfellene som er angitt i 6.4.3.2 og 6.5.3 i resp. nasjonalt tillegg til EN 1990.



- Øvrige lastkombinasjoner bygger du opp selv.

## 7. Stabilitetsgrunnlag

- Dette vinduet viser alle inndata til stabilitetsberegningen.
- Siden vinduet er relativt komplisert er det laget et eget kapittel, Stabilitetsgrunnlag, som beskriver hvordan du bruker vinduet og hva du må passe på.

## Stabilitetsgrunnlag

I ISY Design Stålbjelke kan du overstyre stabilitetsdata som  $C_m$ -faktorer,  $\beta$ -faktorer og  $M_{cr}$ , som er angitt per stav/felt per lastkombinasjon. Dette gjøres i vinduet «Stabilitetsgrunnlag». I dette kapittelet beskriver vi hvordan dette vinduet benyttes.

S.	Felt Y			Felt Z			Felt vipping			$z_g$ [mm]	$k_c$	$M_{cr}$ [kNm]
	Id	Id	$C_{my, B}$	Id	Id	$C_{mz, B}$	Id	Id	$C_{mLT, B}$			
► 1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	1	1	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	1	1	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	0	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	4 513
2	2	2	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	2	2	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	2	2	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	0	<input checked="" type="checkbox"/> 1,00	2 816

For å autoberegne verdier i stabilitetsgrunnlaget må statikken beregnes. Det er gjort automatisk når man går til dette vinduet i navigasjonsmenyen. Det er derfor lurt å bygge opp modellen i rekkefølgen beskrevet i Modellering av stålbjelke slik at statikken beregnes riktig. De viktigste statikkresultatene (momentkurvene, og evt. normalkraft- og forskyvningskurvene) vises i grafikken slik at du kan enkelt validere verdiene. Se Momentfaktorer for interaksjon i teorigrunnlaget for mer informasjon.

Som for hvert sett med snittkrefter i ISY Design Ståltverrsnitt kan stabilitetsdata overskrives for hver stav per lastkombinasjon i Stålbjelke. Samme prosedyre benyttes for beregning av interaksjonsfaktorer og vippefaktorer. Se brukermanualen til Ståltverrsnitt for mer informasjon.

The screenshot shows the 'Interaksjonsfaktorer' window with the following sections:

- Interaksjon ( $M_1$ )**: Lineær, Fordelt last, Punktlast.  $M_v$ ,  $M_m$ ,  $M_h$  (all 0,0 kNm).
- Interaksjon ( $M_2$ )**: Lineær, Fordelt last, Punktlast.  $M_v$ ,  $M_m$ ,  $M_h$  (all 0,0 kNm).
- Vipping (ved moment om y-aksen)**: Lineær, Fordelt last, Punktlast.  $M_v$ ,  $M_m$ ,  $M_h$  (all 0,0 kNm).
- Momentfaktorer ( $M_y$ )**:  $C_{my, B}$  (1,00).
- Momentfaktorer ( $M_z$ )**:  $C_{mz, B}$  (1,00).
- Momentfaktorer**:  $C_{mLT, B}$  (1,00),  $k_c$  (1,00).

Buttons at the bottom: 'Synkroniser felt Y', 'Synkroniser felt Z', 'Synkroniser felt vipping'.

Programmet forventer at stabilitetsdata er lik for staver i samme felt. Du vil få advarsel dersom dette ikke er oppfylt. Dersom du vil overskrive verdiene for et felt kan du overskrive verdien på én stav og klikke på knappen «Synkroniser felt» (for hver feltype) slik at alle staver i det feltet får samme brukerdefinerte verdi.

**NB:** Du må være kritisk til alle verdiene i dette vinduet. Statikkresultater og oppleggsbetingelser benyttes til å regne verdiene, men kompliserte modeller kan føre til mindre nøyaktige beregninger.

# Kapasitetskontroll

## 1. Kjør beregninger

- ▶ Etter alle stegene vist i avsnittet Modellering av stålbjelke, kan bjelken beregnes. «Start beregningen» vil utføre beregninger.
- ▶ Du kan eventuelt gi programmet mulighet for å velge det mest optimale<sup>1</sup> av de tilgjengelige profilene i dokumentet. Dette gjør du ved å trykke på «Velg optimalt tverrsnitt» som da starter beregning for å finne nettopp det optimale tverrsnittet for bjelken. Dette gir også resultater. Merk at beregningen gir kun ett tverrsnitt som settes på hele bjelken (se Begrensninger for mer informasjon).
- ▶ Benytt de forskjellige beregningsinnstillingene for å bestemme hva/hvordan bjelken beregnes:
  - Regne etter elastisk teori, selv for tverrsnitt av klasse 1 og 2.
  - Beregne bare statikk, eller dimensjonere i tillegg.
  - Regne med 2. ordens effekter.
  - Sideveis fastholdt

## 2. Inspiser resultatene

- ▶ Du når resultatene gjennom navigasjonsmenyen.
- ▶ Resultatene vises i tabeller og grafisk. Hvis du ønsker å se nærmere på noen detaljer, kan tabellene ekspanderes.
- ▶ *Resultater* gir deg et sammendrag av de viktigste resultatene fra spennings- og stabilitetskontrollen fra *alle* lastkombinasjoner.
- ▶ *Spenningskontroll* gir resultatene fra spenningskontrollen av tverrsnittet.
  - Hver node har resultater fra spenningskontroll av utført for alle sett med snittkrefter. De mest kritiske verdiene vises.
  - Den grafiske visningen kan endres gjennom menyen vist under «Utseende».

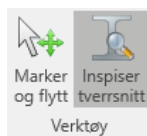


- ▶ *Global stabilitet* gir resultatene fra stabilitetskontrollen, som inkluderer knekking om y- og z-aksen, torsjonsknekkning, vipping og interaksjon mellom disse.
- ▶ Dersom du har både brann- og bruddgrensekombinasjoner kan du velge hvilke av de to sine resultater du vil inspisere fra listen til venstre, som du finner under både *Spenningskontroll* og *Global stabilitet*.

<sup>1</sup> Det mest optimale profilet er definert som profilet med minst tverrsnittsareal som gir en utnyttelse på mindre enn 1.0, eller den grense du har valgt under innstillinger.

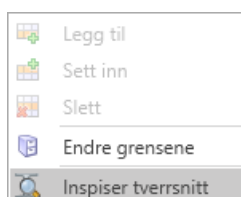
## Inspeksjon av enkeltsnitt

Resultatvisningen er omfattende, men noen ganger kan det være ønskelig å gå enda dypere ned i detaljene for å se hvordan de er beregnet. Derfor har alle resultatvinduer et verktøy som heter "Inspiser tverrsnitt".



Når du velger dette, og deretter klikker i det grafiske vinduet, blir det laget et nytt dokument av typen Ståltverrsnitt. Dette inneholder alle de inndata og resultater som programmet har brukt for å dimensjonere den aktuelle noden i bjelken.

Noen ganger kan det være vanskelig å treffe nøyaktig i den noden du ønsker. Derfor har vi også lagt inn tilsvarende funksjon i den alfanumeriske visningen. Hvis du høyreklikker på en linje får du følgende valg:



Her gir "Inspiser tverrsnitt" et Ståltverrsnittsdocument for den x-koordinat som er vist i den markerte linjen. Dette gjelder for alle linjer med resultat, hvor det finnes én x-koordinat. Linjer som ikke inneholder noen x-koordinat (f.eks. sammendrag i statikken), eller flere x-koordinater (f.eks. Elementsnittkrefter og de fleste Sammendrag i dimensjoneringen) har av innlysende grunner ikke denne muligheten.

Legg merke til at resultatene under Global Stabilitet er per stav og har ikke x-koordinat, men man kan fortsatt kjøre inspeksjon av enkeltsnitt. I grafikken kan noder inspiseres, men i numerikken velges noden i midten av bjelken.

## Forenklet inspeksjon av enkeltsnitt

Å opprette et tverrsnittsdocument ved inspeksjon av enkeltsnitt med alle kreftene og validere dem er tid- og minnekrevende. Programmet velger derfor ut de settene som er de mest kritiske og til nytte for brukeren. Se kapittel Inspeksjon av enkeltsnitt under teorigrunnet for mer informasjon.

## Forskjell i resultater

Ved inspeksjon av enkeltsnitt kan resultatene i tverrsnittsdocumentet variere noe fra resultatene i Stålbjelke documentet. Dette gjelder stabilitetsresultater, da bjelke documentet har mer nøyaktige verdier for stabilitetsdata.

Siden Ståltverrsnitt opererer med én tverrsnittsklasse og normalkraft for stabilitetskontrollen, mens det i Stålbjelke opereres med (potensielt) tre ulike tverrsnittsklasser og normalkrefter (én for hvert felt staven tilhører), vil man kunne oppleve at resultatene ved inspeksjon av enkeltsnitt ikke blir identisk til resultatene i bjelke documentet.

## Lastsituasjoner (lastgrupper)

Programmet støtter flere lastsituasjoner per lasttilfelle. Lastsituasjonene er hverandre utelukkende. Det vil si at det kun kan opptre én lastsituasjon om gangen i beregningene. Se Brukermanual Statikkbjelke for mer informasjon om lastsituasjoner/lastgrupper.

## Ledd

Fordi ledd kun er indre frihetsgrader, blir ikke stivhetsmatrisen singulær, uansett om det blir lagt inn så mange ledd at deler av konstruksjonen er instabile. Dette fører til at også slike konstruksjoner lar seg beregne uten feilmeldinger. Men resultatene er selvfølgelig ikke til å stole på. Vanligvis gir de helt urimelige forskyvninger, mens kreftene fortsatt kan ha en normal størrelsesorden.

En annen konsekvens av dette, er at rotasjoner i noder med ledd vises med samme verdi for begge sidene av noden. Enkelt sagt blir leddet plassert umiddelbart ved siden av noden. Fordi rotasjonen i noden ikke brukes til noe, har dette ingen praktisk betydning.

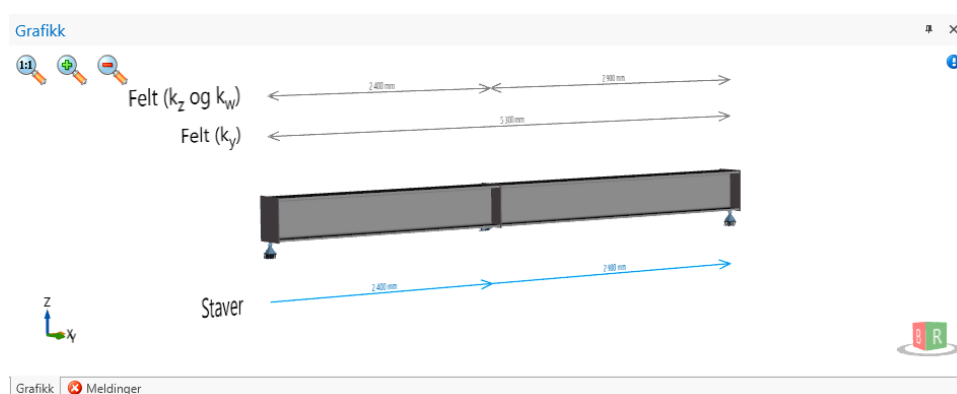
## Utkragere

For utkrager, som er en del av en kontinuerlig bjelke, kan innspenningspunktet oftest rotere. Da er  $k$ -verdiene ofte på usikre siden. Derfor bør en slik konstruksjon regnes etter 2. ordens teori. Også verdien på  $k_w$  kan være på usikre siden, hvis opplegget er gaffellagret. Her forventes at konstruktøren påser at opplegget virkelig er innspent mot hvelving.

Dersom det er varierende normalkraft eller modellen inneholder flere felt med utkrager er ikke beregning av kritiske knekklaster nødvendigvis riktig. Du har mulighet for å overskrive verdiene i vinduet Modellgeometri.

## Felt

Det er verdt å merke seg at felt defineres i y- og z-retning, samt for vipping ( $k_w$ ), hver for seg. Ved opplegg som kun har fastholdinger i den ene retningen (f.eks. sidestøtte) vil antall felt for de tre «retningene» kunne variere, og en stav kan tilhøre ulike felt avhengig av hvilken retning man betrakter. I figuren under er det en fritt opplagt bjelke med en sidestøtte i midten – i y-retning er feltet hele bjelken, mens i z- og vippe-retning er det to felt (halve bjelken).



Feltene deles i henhold til reglene nederst i Tabell B.3 i EN 1993-1-1. For  $k_y$  deles felt i alle opplegg som har fastholding (eller fjærkonstant) for forskyvning i z-retning eller bøyning om y-aksen. Tilsvarende deles felt for  $k_z$  i alle opplegg som har fastholding for forskyvning i y-retning eller bøyning



om z-aksen. For  $k_w$  deles felt i alle opplegg som har fastholding for forskyvning i den sterke aksens retning (y-retning dersom y-aksen er sterk akse) eller bøying om den sterke aksen.

Optimalt vil det være én  $k$ -verdi per felt, men ved spesialtilfeller kan du overskride de autoberegnete  $k$ -verdiene.

## Knutepunkt

Dersom to påfølgende staver har ulikt tverrsnitt, regnes dette som et knutepunkt. Programmet regner ikke på selve knutepunktet, men noden som ligger i overgangen mellom stavene blir dimensjonert 2 ganger; en for hvert tverrsnitt. På denne måten kan man være sikker på at konstruksjonen holder så lenge forbindelsen dimensjoneres sterkt nok.

## Én-akset beregning uten normalkrefter

Dersom du bruker én-akset beregning uten normalkrefter og 2. ordens effekter (gjelder alltid i standard versjon av ISY Design Stålbjelke), vil programmet likevel inneholde  $k$ -verdiene ( $k_y$ ,  $k_z$  og  $k_w$ ) og mulighet for opplegg med fastholdning i/rotasjon om sekundæraksen. Grunnen til dette er at denne informasjonen trengs for beregning av vipping. Hvis du har en konstruksjon som er utsatt for vipping, bør du ta stilling til disse verdiene. Du kan også bruke vinduet «Stabilitetsgrunnlag» for å påvirke vippeberegningen.

Det er også verdt å merke seg at skjærkreftene som angis blir dekomponert i tverrsnittsberegningen slik at de alltid virker i tverrsnittets lokale koordinatsystem  $y'-z'$ . Det medfører at det, for asymmetriske tverrsnitt, faktisk blir utført en to-akset analyse for skjærkrefter, men det er likevel kun én samlet utnyttelse som blir presentert i resultatene i bjelkemodulen.

# Teorigrunnlag

## Generelt

Formlene for beregningene av bjelker med ståltverrsnitt er i henhold til følgende standarder med norske, svenske, danske og finske nasjonale tillegg. Se Brukermanual ISY Design Generelt for mer informasjon om inkluderte versjoner av standardene og tilhørende nasjonale tillegg.

- ▶ Eurokode 0, EN 1990 (EC0)
- ▶ Eurokode 1, EN 1991-1-1 (EC1-1-1)
- ▶ Eurokode 1, EN 1991-1-2 (EC1-1-2)
- ▶ Eurokode 3, EN 1993-1-1 (EC3-1-1)
- ▶ Eurokode 3, EN 1993-1-2 (EC3-1-2)
- ▶ Eurokode 3, EN 1993-1-5 (EC3-1-5)
- ▶ Eurokode 9, EN 1999-1-1 (EC9-1-1)

Programmet bruker de konstanter og formler som er angitt i det aktuelle nasjonale tillegget, men det er også mulig å benytte de anbefalte verdier som er angitt i standardutgaven. 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.

## Andre brukerveiledninger

I likhet med Eurokode har vi valgt å ikke dublere samme informasjon i flere brukerveiledninger. Det betyr at vi henviser til brukerveiledningene for Ståltverrsnitt og Statikkbjelke når disse modulene benytter samme beregningsrutiner. Av praktiske grunner har vi måttet fravike dette enkelte ganger.

## 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 velger Beregning (legg merke til at statikkberegning kjøres automatisk når man går til Stabilitetsgrunnlag). Disse beregningene blir gjort for hver node (fra statikkberegningen), og det forutsettes at utnyttelsen ikke er større noe sted mellom nodene. Fordi det alltid blir laget nye noder ved punktlaster, er ikke dette alltid en trygg forutsetning (fordelt last, 2. ordens effekter etc.). For lasttog blir det ikke laget nye noder hvor punktlastene blir plassert. Her må du selv passe på at antallet lastposisjoner er høyt nok til å omfatte alle relevante plasseringer. Det blir ikke dimensjonert i noder som har ledd. Se Dimensjonerende snittkrefter for mer informasjon om hvordan noder dimensjoneres.

## Materialdata

Her er det ingen forskjeller i forhold til Ståltverrsnitt, med unntak av tyngdetetthet  $\gamma$ . Dessuten blir faktoren  $K_{fi}$  ( $\gamma_d$  etter svensk tillegg) som tar hensyn til sikkerhetsklasse vist for alle nasjonale tillegg.

## Statikkberegning

Programmet benytter samme statikkberegning for stålbjelker som for statikkbjelker, men uten mulighet for andre ulykkeslaster enn brann. Se brukermanual for ISY Design Statikkbjelke for mer informasjon.

## Nedbøyninger

Beregning av nedbøyninger er den eneste bruksgrenseberegningen som blir gjort i programmet. Disse resultatene fremkommer direkte fra statikkberegningen av bruksgrensekombinasjonene, og er altså en fullt elastisk statikkanalyse. Hvis spenningene i bruksgrense overskrider flytespenningen er dette en antakelse på ikke-konservativ side, men dette er ikke noe krav i Eurokode og er derfor heller ikke tatt hensyn til i programmet.

I beregningsinnstillingene kan bruker velge å inkludere krav til nedbøyning i bruksgrense. Merk at disse kravene påvirker valg av optimalt tverrsnitt.

## Geometrisk avvik (EC3-1-1 5.3)

Det er nødvendig å ta hensyn til geometrisk avvik i henhold til kapittel 5.3 i EC3-1-1 for alle konstruksjoner med trykk-krefter og som beregnes med 2. ordens analyse. Beregningene i programmet blir gjort i henhold til punkt 5.3.2(3), som deler det geometriske avviket opp i to kategorier som virker samtidig på konstruksjonen og forsterker hverandre:

- ▶ Et bueformet lokalt formavvik på enkeltstavene
- ▶ En forventet global skjevstilling av hele konstruksjonen

Så lenge geometrisk avvik skal inkluderes i beregningene, blir det bueformede lokale formavviket alltid tatt hensyn til i programmet. Skjevstillingen tas derimot kun hensyn til for rene utkragere, enten i starten eller slutten av modellen. Dersom det er angitt oppleggsfjærer e.l., hvor man også bør ta hensyn til den globale skjevstillingen, er det noe man selv må legge til når man angir de inngående lastene. (Det opplyses ikke noe videre om dette i programmet, da det er umulig å avgjøre om skjevstillingen burde vært inkludert eller ikke.)

Reglene i punkt 5.3.2(3) er entydige og enkle for fritt opplagte felt. For alle andre konstruksjoner enn fritt opplagte felt, er det derimot ikke innlysende hvordan standarden mener at man skal regne. Punkt 5.3.2(1), samt den generelle metoden beskrevet i punkt 5.3.2(11), indikerer likevel at det er konstruksjonens elastiske knekkform som skal ligge til grunn, og dette benyttes i programmet. Alle lastene fra geometrisk avvik (i henhold til punkt 5.3.2(3)) påføres derfor samtidig på alle felt i hele modellen, i de retninger som modellen vil knekke ut i den elastiske knekkformen.

Ettersom reglene for geometrisk avvik står i den generelle delen av standarden (kapittel 5), blir dette inkludert for både bruddgrense- og bruksgrensekombinasjoner.

Det er verd å merke seg at det å benytte konstruksjonens knekkform for å bestemme retningen på det geometriske avviket i hvert felt, ikke nødvendigvis vil maksimere momentet i det enkelte felt. Det finnes eksempler, særlig når man har fjær-opplegg, hvor motsatt fortegn på det geometriske avviket ville ført til et større moment i ett eller flere felt, men standarden er klar på at det er konstruksjonens knekkform som skal ligge til grunn. Dette støttes også av at hovedhensikten til det

geometriske avviket er å ta hensyn til den globale stabiliteten til modellen, og da er det alltid krefter som tvinger konstruksjonen mot sin knekkform, som er de mest kritiske.

## Bueformet lokalt formavvik

Punkt 5.3.2(3) m) (som egentlig skulle vært b)) angir hvordan det bueformede lokale formavviket kan erstattes med en jevnt fordelt last vinkelrett på bjelken. Prinsippet her er at den jevnt fordelte lasten gir omtrent samme momentkurve som 2. ordens moment ville blitt på en bueformet stav med største utbøyning lik  $e_0$ . Intensiteten regnes ut i henhold til Figur 5.4:

$$q = \frac{8N_{Ed}}{L} \frac{e_0}{L}$$

Forholdet  $e_0/L$  hentes i utgangspunktet fra Tabell 5.1 i EC3-1-1, men kan overstyres av nasjonale tillegg. Det er kun de elastiske verdiene som er aktuelle. Dersom et felt inneholder flere ulike tverrsnitt, blir den mest kritiske knekkkurven benyttet i hele feltet.

Knekk-kurve	$e_0/L$
$a_0$	1/350
$a$	1/300
$b$	1/250
$c$	1/200
$d$	1/150

Norsk tillegg: Samme som standardutgaven  
Svensk tillegg: Samme som standardutgaven  
Dansk tillegg: Samme som standardutgaven  
Finsk tillegg: Samme som standardutgaven

$N_{Ed}$  er dimensjonerende trykkraft på den betraktete staven.  $N_{Ed}$  hentes fra statikkberegningen, hvor denne uansett må beregnes for å finne overføringstallene i stivhetsmatrisen. Største trykkraft (minste  $N_{Ed}$ ) i hvert felt vil bli benyttet i hele feltet. Dette vil være konservativt i de tilfeller hvor normalkraften varierer underveis i feltet, så dersom man ønsker bedre nøyaktighet kan man oppnå det ved å inkludere geometrisk avvik manuelt. Strekk skal ikke medføre krav til geometrisk avvik, så programmet benytter  $N_{Ed} = 0$  for felt som ikke har trykkrefter.

I tillegg til den jevnt fordelte lasten, skal det påføres punktlaster i starten og slutten av hvert felt, for å beholde sideveis likevekt i bjelken. Intensiteten på punktlastene skal ifølge Figur 5.4 i EC3-1-1 være lik på begge sider av feltet, og settes til

$$P = 4N_{Ed} \frac{e_0}{L}$$

Normalt vil dette kun medføre at oppleggskreftene blir mindre enn uten denne lasten, mens den har en reell påvirkning på utkragere, samt felt som starter/slutter i en horisontal/vertikal fjær.

## Global skjevstilling

Den globale skjevstillingen bør kontrolleres for alle konstruksjoner hvor knutepunktene kan være forskjøvet i forhold til hverandre. Den kan opptre både for grupper med et eller flere felt, og for hele konstruksjonen. En helt generell vurdering av om/ hvordan denne skulle inkluderes i den aktuelle konstruksjonen ville vært svært komplisert å lage. Når man ser praktisk på konstruksjonen kan man i de aller fleste tilfeller enkelt si hvordan det skal inngå, og vi overlater derfor til brukeren å ta hensyn til skjevstillingen på en egnet måte.

Unntaket her er for rene utkragerer, i starten og/eller slutten av modellen. Her er det innlysende både at man må ta hensyn til skjevstillingen, og hvordan det skal gjøres, så her inkluderer programmet automatisk beregning av skjevstillingen. Dette gjøres i henhold til punkt 5.3.2(3) l) (som egentlig skal være a)) i EC3-1-1, og kommer som et tillegg til effektene fra det bueformede formavviket.

Punktlasten ytterst i utkrageren beregnes som

$$P = \phi N_{Ed}$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ men } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$h$  er her «konstruksjonens høyde i meter», som for programmet tilsvarer lengden på utkrageren.

Vi har ikke beregning av konstruksjoner med flere søyler, og benytter derfor  $\alpha_m = 1,0$ .

Skjevstillingen skal ha samme fortegn som punktlasten som balanserer den jevnt fordelte lasten som skal simulere det lokale bueformede avviket. Det blir altså motsatt fortegn på punktlasten for global skjevstilling og den jevnt fordelte lasten som gir bueformet avvik, da dette er mest kritisk for konstruksjonen.

## Fortegn

For kompliserte modeller er det ved første øyekast ikke innlysende hvilken retning det geometriske avviket skal påføres i. Standarden legger den mest ugunstige av alle elastiske knekkformer til grunn for valg av fortegn, men definerer ikke hva som ligger i begrepet «mest ugunstige». For eksempel vil det over et indre fritt opplegg bli et vesentlig større moment dersom det geometriske avviket påføres i samme retning på de to tilgrensende stavnene. Derimot finnes det ingen knekkform som har en slik deformasjonsmønster. Ved opplegg som er fastholdt mot vertikal forskyvning (horisontal hvis knekking om z-aksen), vil enhver knekkform alltid deformeres motsatt vei på høyre og venstre side av opplegget.

Programmet legger dette til grunn, og bytter fortegn på geometrisk avvik ved hvert opplegg som er fastholdt, helt eller delvis (ved fjær), mot vertikal (/horisontal) forskyvning. Det geometriske avviket påføres hele modellen samtidig, som et lasttilfelle per lastkombinasjon som er «variabel total», altså med  $\gamma$ -faktorer 1,0 og -1,0. Ved to-akset beregning påføres geometrisk avvik i både  $y$ - og  $z$ -retning, men kun hver for seg, ikke samtidig.

Et potensielt problem med metoden er fjæropplegg. Dersom den vertikale (/horisontale) fjæren er svak nok, vil første knekkform ha samme deformasjonsretning i de to tilgrensende feltene, og metoden som benyttes i programmet er ikke nødvendigvis på sikre siden. Det blir derfor gitt en informasjon i programmet i slike tilfeller, hvor det anbefales å vurdere gyldigheten av fortegnet på det geometriske avviket. Legg merke til at dette gjelder kun indre fjæropplegg. I endene av modellen kan man ha fjærstivhet uten at metoden havner på den usikre siden.

## Noder som skal dimensjoneres

I Stålbjelke dimensjoneres alle noder, også de som ligger i et opplegg eller i et ledd. Legg merke til at programmet dimensjonerer noder i tverrsnittsoverganger 2 ganger, en for høyre og en for venstre side av noden. Dette gjøres i praksis ved å legge til 2 noder i samme koordinat, men med forskjellig tverrsnitt.

## Dimensjonerende snittkrefter

Det kan være vanskelig å velge ut hvilken kombinasjon av normalkrefter, momenter og skjærkrefter som er mest kritisk for stålbjelken, både med tanke på spenningskontrollen og stabilitetskontrollen. I utgangspunktet lagres absolutt alle sett med snittkrefter fra statikkberegningen i hver enkelt node, men siden dette kan bli svært mange sett snittkrefter, er det nødvendig å forkaste de fleste irrelevante snittkreftene allerede før beregningen starter. I statikkberegningen deles hver lastkombinasjon opp i mange sub-kombinasjoner, særlig ved lasttilfeller markert som «Variabel feltvis» og for lasttog. Det er disse sub-kombinasjonene som blir beregnet, og hver av dem gir opphav til en enkelt kurve for moment, skjærkraft, normalkraft og nedbøyning. Når alle sub-kombinasjonene er beregnet, slås de sammen, og vi får kurver med maks/min-verdier.

I Stålbjelke trenger vi resultatene fra disse sub-kombinasjonene når vi skal velge ut snittkrefter, og i hver node vil hver sub-kombinasjon føre til 2 sett snittkrefter som skal beregnes, en for høyre side og en for venstre side av noden. Ett viktig unntak her er noder i overgangen mellom to staver. Her lages en node på hver side av overgangen, og det skal derfor kun legges inn snittkrefter som er gjeldende på den siden som den aktuelle noden representerer.

For at det skal være praktisk mulig å regne på denne måten, benytter programmet rutiner som fjerner alle snittkrefter som vi vet at *ikke* er kritiske for noen resultater. Denne utvelgelsen fjerner i praksis det meste av snittkreftene, slik at vi står igjen med et håndterbart antall i hver node.

## Stabilitetskontroll

For å kontrollere spenning i hver node benytter programmet sett med krefter som i Ståltverrsnitt og dens rutiner. Situasjonen er litt ulik for stabilitetskontrollen. Her er det felt som skal dimensjoneres, ikke enkeltnodene. For hver sub-kombinasjon velges det ut et sett med snittkrefter per stav, som sammen utgjør de dimensjonerende kreftene for feltet(ene) staven er del av i stabilitetskontrollen.

I tillegg er settene med krefter noe annerledes fra de som brukes i Ståltverrsnitt. Vi har at en stav kan være del av 3 forskjellige felt (felt som har forskjellige samlinger av staver). Kreftene er feltets kritiske verdier (se under) og da må settet ta vare på normalkraft, moment og tverrsnittsklasse for hver av de 3 feltene. På denne måten kontrolleres stabilitet med verdier som tilhører sitt felt.

Kritiske krefter i feltet bestemmes på følgende måte:

- ▶ *Normalkraft*: Største trykkraft i feltet, 0 hvis strekk.
- ▶ *Moment*: Største (lengst unna 0) moment i feltet.
- ▶ *Tverrsnittsklasse*: Verste (høyest) tverrsnittsklasse blant alle snittkrefter (noder) i feltet.

## Forenklet beregning

Brukeren velger mellom å kjøre en overslagsberegning (valget ligger i beregningsinnstillingene), eller en nøyaktig beregning. I praksis styrer dette om vi kun beregner sett med snittkrefter fra omhyllingskurvene til kreftene fra statikken i hver lastkombinasjon, eller om vi beregner alle sett snittkrefter fra hver eneste sub-kombinasjon.

Merk: Dersom statikken beregnes med normalkrefter og/eller 2. ordens effekter benyttes nøyaktig metode siden superponering ikke kan benyttes uansett (se brukermanual for ISY Design Statikkbjelke).

Det er anbefalt å beregne nøyaktig – alle sub-kombinasjoner beregnes og dimensjoneres. Dersom det er svært mange sub-kombinasjoner, som for eksempel ved lasttog og variable feltvise laster, kan beregningstiden bli lang. Det er da opp til bruker om han eller hun vil kjøre en forenklet beregning i stedet – som er mye raskere.

Legg merke til at for forenklet metode for tverrsnitt som *kan* havne i klasse 3 eller 4, men som havner i en lavere tverrsnittsklasse for de kreftene vi plukker ut, er det en mulighet for at det finnes mer kritiske sett av snittkrefter. Programmet gir da en advarsel om at det *kanskje* finnes et sett snittkrefter som er mer kritisk enn det vi regner på.

## Inspeksjon av enkeltsnitt

Å opprette et tverrsnitsdokument ved inspeksjon av enkeltsnitt med alle kreftene og validere dem er tid- og minnekrevende. Programmet velger derfor ut kun de kreftene som er mest kritiske.

Ved inspeksjon av enkeltsnitt velges sett med snittkrefter som gir størst utnyttelse for følgende verdier:

- ▶ Spenningskontroll
  - Interaksjon  $M + N + V$
  - Interaksjon skjærknekking  $M_y + N + V_{b,z}$
  - Interaksjon skjærknekking  $M_z + N + V_{b,y}$
  - Normalspenninger  $M + N$
  - Skjærspenninger  $V + V_b$
  - $M_y$
  - $M_z$
  - $N$

- $V_z + V_{b,z}$
- $V_y + V_{b,y}$
- Flensindusert stegknekking
- Tverrsnittsklasse 4
  - Velger det med lavest effektivt areal.
- ▶ Stabilitetskontroll
  - Interaksjon etter (6.61)
  - Interaksjon etter (6.62)
  - Vipping
  - Knekking om y-akse
  - Knekking om z-akse
  - Torsjonsknekking
  - Bøyetorsjonsknekking

Vi gir de valgte settene et representativt navn (lastkombinasjon og verdi som ble brukt i valget), og fjerner de som er like. De som beholdes skal følge samme prioritet som i listen over. Som for eksempel dersom valgt sett for  $M_y$  og normalspenninger  $M + N$  er det samme, beholdes normalspenninger  $M + N$ . Legg merke til at noen av disse settene er unødvendige dersom krefter i x-retning og/eller krefter om to akser ikke er valgt.

For stabilitetskontrollen er det den største (mest negative)  $N_{Ed}$  som blir brukt, mens  $M_y$  og  $M_z$  hentes fra sine respektive feltyper. Dette innebærer selvfølgelig også at det vil kunne forekomme avvik i resultatene ved inspeksjon av enkeltsnitt i forhold til det som blir beregnet i bjelke-dokumentet.

Dersom det eksisterer en brannkombinasjon (ulykke) skal det velges egne sett med snittkrefter på samme måte som over. Det kan derfor bli opptil 38 sett med snittkrefter i inspeksjon av enkeltsnitt.

Merk at alle sett snittkrefter med feilmelding (error) vil alltid bli med i inspeksjon av enkeltsnitt.

## Spenningskontroll

Spenningskontrollen blir kjørt med bruk av rutinene fra Ståltverrsnitt på hver node som skal dimensjoneres. Se brukermanualen til ISY Design Ståltverrsnitt for detaljer rundt spenningskontrollen.

## Stabilitetskontroll

Stabilitetskontrollen regnes ikke/er ikke relevant i enkelte tilfeller. Dette gjelder når:

- ▶ Felt har varierende tverrsnitt (se Begrensninger).
- ▶ Modellen er sideveis fastholdt og regnes
  - Enten uten krefter i x-retning
  - Eller med 2. ordens effekter
- ▶ Dokumentet beregnes uten hverken krefter om 2 akser eller krefter i x-retning, samt hvor alle staver i modellen har enten et usymmetrisk tverrsnitt (som dermed ikke støtter vipping), eller har et tverrsnitt med  $I_z \geq I_y$ .
- ▶ Vi har et dokument med kun bruksgrensekombinasjoner. Stabilitet (og spenning) kontrolleres kun for bruddgrense og brann.



Legg merke til at dersom noen av disse punktene slår til vil det ikke være mulig å endre verdier i stabilitetsgrunnlaget. Det vises også en melding der.

Ellers vil global stabilitet av modellen alltid bli kontrollert, men *hvordan* kontrollen utføres kan påvirkes i stor grad. Felles for metodene er at kontrollen utføres per felt, der feltet har konstant tverrsnitt, med kombinasjonen av de mest kritiske enkeltverdiene for  $N$ ,  $M_y$  og  $M_z$  fra hele feltet.

## Generelt om beregningene av stabilitet

Stabilitetskontrollen i Stålbjelke utføres i hovedsak med de samme rutinene som Ståltverrsnitt, men med noe utvidet funksjonalitet, da man kjenner mer detaljer om fordelingen av krefter i hele modellen. Beregningene utføres for et antall sett krefter per felt, der hvert sett består av 6 snittkrefter og 3 tverrsnittsklasser, som beskrevet i kapittel Dimensjonerende snittkrefter.

Oppsummert utføres stabilitetskontrollen som følger:

- ▶ En del verdier regnes ut på forhånd, da de er uavhengig av kreftene
  - $N_{cr}$  (og  $k$ -faktorer) hentes fra modellgeometrien.
  - $M_{cr}$  og  $C_m/\beta$ -faktorer hentes fra stabilitetsgrunnlaget.
- ▶ Hver stav dimensjoneres separat, også selv om flere staver inngår i samme felt. Dette gjøres for å støtte det at feltene for de ulike retningene kan omfatte forskjellige samlinger staver.
- ▶ Beregningene gjøres ellers med rutinene i Ståltverrsnitt, hvor det nå også må tas hensyn til den utvidede informasjonen som er tilgjengelig. (I Ståltverrsnitt er det kun 3 snittkrefter, med 1 tilhørende tverrsnittsklasse, som er inndata, mens vi nå har 6 snittkrefter og 3 tverrsnittsklasser.)
  - Interaksjonsberegningene i tillegg A og B tar utgangspunkt i den verste av de tre tverrsnittsklassene.

## Stavdata

I kontrollen av stabilitet i Stålbjelke trenger vi de samme stavdata som vi har i Ståltverrsnitt. Dette kapittelet beskriver hvordan disse blir funnet. Merk at stabilitetskontrollen forutsetter lik tverrsnittsgeometri på staven i feltet.

Noen data er inndata også i Stålbjelke, og kan hentes direkte fra den aktuelle staven. Dette gjelder

$k_y$	En faktor som angir relasjonen mellom feltets geometriske lengde og feltets knekk lengde om (den globale) y-aksen.
$k_z$	En faktor som angir relasjonen mellom feltets virkelige lengde og feltets knekk lengde om (den globale) z-aksen.
$k_w$	En faktor som benyttes i forbindelse med vipping (se EN 1999-1-1 tabell I.2), og som relaterer seg til om staven er forhindret fra å hvelve i oppleggspunktene.
Rotasjonsvinkel	Den brukerdefinerte rotasjonen av tverrsnittet

De resterende data blir beregnet i Stålbjelke, eller får sin default/autoberegnete verdi:

$L_y$	Feltlengde for utbøying om y-aksen. (Brukes kun til beregning av data under.)
$L_z$	Feltlengde for utbøying om z-aksen. (Brukes kun til beregning av data under.)
$L_{LT}$	Feltlengde for vipping. (Avstand mellom punkter med avstivning mot vipping, vist som «Felt ( $k_w$ )» i grafikken.)

	Dersom det er huket av at modellen er sideveis fastholdt settes $L_{LT} = 0$ .
Stavtype,y	Denne finner vi fra oppleggsbetingelsene for bøyning om y-aksen. (Se detaljer under tabellen.)
Stavtype,z	Denne finner vi fra oppleggsbetingelsene for bøyning om z-aksen. (Se detaljer under tabellen.)
$L_{cr,y}$	Knekkklengde for knekking om y-aksen får normalt sin autoberegnete verdi, men dersom programmet regner statikken med 2. ordens effekter settes $L_{cr,y} = 0$ .
$L_{cr,z}$	Knekkklengde for knekking om z-aksen får normalt sin autoberegnete verdi, men dersom programmet regner statikken med 2. ordens effekter settes $L_{cr,z} = 0$ .
$L_{cr,T}$	Knekkklengde ved torsjonsknekkning får sin autoberegnete verdi ( $L_{cr,T} = k_w L_{LT}$ ).
$a$	Avstand mellom tverrstivere settes til 0 mm (som tilsier at det ikke er tverrstivere).
Endestivere	I Stålbjelke antas det alltid at endestivere er myke.

### Fremgangsmåte for å finne feltype

For hvert felt avgjør vi om hver ende av feltet (høyre/venstre) er helt fri (utkrager), fritt opplagt, eller fast innspent.

I Ståltverrsnitt er det stavtype (feltype) som bestemmer momentkurvene, k-verdiene har ingenting å si. I Stålbjelke derimot, er det motsatt; her kan bruker sette egendefinerte k-verdier som påvirker modellen. For at tverrsnittsberegningen skal kunne kjøres må feltype bestemmes for hver stav (i både y- og z-retning). Følgende er en fremgangsmåte for å bestemme feltype basert på k-verdi og oppleggsbetingelser i y-retning (det samme prinsippet gjelder for z-retningen).

Finne stavtype:

- ▶  $k_y > 1,0$  gir utkrager («Cantilever»).
- ▶  $k_y \leq 0,5$  gir fast innsent i begge ender («FixedFixed»).
- ▶  $1,0 \geq k_y > 0,5$  gir spesialtilfeller alt ettersom hvilke oppleggsbetingelser som er valgt for feltet. Avgjør om hver ende av feltet (høyre/venstre) er helt fri (utkrager), fritt opplagt, eller fast innsent ved å bruke fremgangsmåten i Finne opplager i feltet. Følg deretter punktene under for å finne stavtypen.
  - Fast innsent – fritt opplagt: «FixedFree».
  - Fritt opplagt – fast innsent: «FreeFixed».
  - Ellers fritt opplagt («FreeFree»). Vi mener dette er konservativt siden vi vet at  $k_y$  er mellom 1,0 og 0,5.

### Finne opplager i feltet

Vi har tre typer oppleggsbetingelser som skal brukes for å avgjøre hvilken feltype det er for hvert felt. Det er mange flere typer i Stålbjelke, men det er bare disse som brukes i Ståltverrsnitt.

- ▶ Fast innsent.
- ▶ Fritt opplagt.
- ▶ Ingen.

Finne opplager i feltet (y-retning):

- ▶ Fjærkonstant eller full fastholdning mot både forskyvning i z-retning og rotasjon om y-aksen gir fast innspenning.

- ▶ Fjærkonstant eller full fastholdning mot forskyvning i z-retning, men helt fri rotasjon om y-aksen gir fritt opplegg.
- ▶ Ellers regnes den aktuelle enden som utkrager (ingen).

## Valg av 1. eller 2. ordens analyse

Valget om å regne statikken med 2. ordens effekter er det som har størst påvirkning på den globale stabilitetskontrollen, og påvirker også resultatene i spenningskontrollen. Punkt 5.2.1(3) i EN 1993-1-1 angir grenseverdier for når 2. ordens analyse må benyttes, men ettersom kravene på dette punktet ser på konstruksjonen som helhet, er ikke denne kontrollen inkludert i ISY Design Stålbjelke.

Brukeren må selv avgjøre om 2. ordens analyse er nødvendig. Programmet gir likevel én advarsel (på resultatene) dersom opptredende normalkraft overstiger 10% av kritisk knekklast (minimum av  $N_{cr,y}$ ,  $N_{cr,z}$ ,  $N_{cr,T}$  og  $N_{cr,TF}$ ) i minst 1 node.

2. ordens analyse påvirker den globale stabilitetskontrollen på følgende måte:

- ▶ Dersom 2. ordens analyse er valgt:
  - Statikkberegningen inkluderer kontroll av knekking om y-aksen, og eventuelt også z-aksen dersom man regner 2-akset.
    - Dersom man ikke regner 2-akset, blir knekking om z-aksen kontrollert etter reglene i kapittel 6.3 i EC3-1-1. I praksis gjøres dette ved å sende inn en relevant verdi i stedet for 0 for  $L_{cr,z}$ .
  - Geometriske avvik, i form av et lokalt bueformet formavvik og eventuelt også en global skjevstilling, legges til i statikkberegningen (se kapittel Geometrisk avvik (EC3-1-1 5.3) for detaljer).
  - Vipping blir kontrollert etter reglene i kapittel 6.3.
  - Torsjonsknekkning blir også kontrollert etter reglene i kapittel 6.3.
  - Bøyetorsjonsknekkning kontrolleres automatisk i rutinene til Ståltverrsnitt. Dersom man regner med 2. ordens effekter er ikke denne relevant, da den alltid blir lik torsjonsknekkningen, mens den blir kontrollert i henhold til kapittel 6.3 hvis man regner 1. ordens.
  - Interaksjon kontrolleres som vanlig etter reglene i kapittel 6.3. Verd å merke seg er at knekkleddene i y- og z-retning er 0, mens torsjonsknekkning alltid beregnes. I interaksjonen vil det bli gjort en vurdering av om torsjonsknekkning skal med eller ikke. Detaljer for dette finnes i brukermanualen til Ståltverrsnitt.
- ▶ Dersom man regner uten 2. ordens effekter: (Se kapittel Interaksjon (EC3-1-1 6.3) for detaljer).
  - Kontroll av både knekking (om y-/z-akse, samt torsjons- og torsjonsbøyeknekkning), vipping og interaksjon utføres i henhold til reglene i kapittel 6.3 i EN 1993-1-1.
  - Geometriske avvik er ikke nødvendig å ta hensyn til, da de er innarbeidet i formlene i kapittel 6.3.

Stabilitetsberegningene i EN 1993-1-1 forutsetter at feltet har uforskyvelige endepunkter. Dersom man har knutepunkt som er forskjøvet i y- eller z-retning er man derfor utenfor hva standarden dekker. Da bør man benytte 2. ordens analyse.

## Kontinuerlig sideveis avstivning

Det er mulig å angi at modellen har en kontinuerlig sideveis avstivning, for eksempel i form av takplater. Dette vil ha følgende innvirkninger på beregningene:

- ▶ Det blir ikke utført kontroll av knekking om z-aksen eller kontroll av torsjonsknekkning / bøyetorsjonsknekkning.
- ▶ Vipping blir ikke kontrollert for staver der y-aksen er sterk akse (vipper for moment om y-aksen).
- ▶ I Enterprise-versjonen fjernes muligheten for å gjøre en 2-akset statikkanalyse. (Statikken beregnes kun for moment om y-aksen.)
- ▶ Dersom det er angitt både 2. ordens teori og kontinuerlig sideveis avstivning, utføres ingen beregning i stabilitetskontrollen. Dette fordi knekking om z-aksen (og torsjonsknekkning/bøyetorsjonsknekkning) og vipping ikke kontrolleres på grunn av sideveis fastholdning, og ved 2. ordens analyse kontrolleres knekking om y-aksen i statikkberegningen. Det eneste som gjenstår da er spenningskontrollen.

## Knekkning

Knekkning regnes per felt etter kapittel 6.3 i EC3-1-1, med rutinene i Ståltverrsnitt (se egen brukermanual). I praksis utføres beregningene per stav, for å ta hensyn til at en enkelt stav kan tilhøre ulike felt for knekking om y- og z-retning, samt torsjonsknekkning (se Dimensjonerende snittkrefter for mer informasjon). Dimensjonerende normalkraft for bøyetorsjonsknekkning settes til den største  $N_{Ed}$  fra de retningene som inngår i beregning av  $N_{cr,TF}$ .

## Vipping

Vipping regnes per felt etter kapittel 6.3 i EC3-1-1, med rutinene i Ståltverrsnitt (se egen brukermanual). I praksis utføres kontrollen per stav, som resten av stabilitetskontrollen. Dimensjonerende moment og tilhørende tverrsnittsklasse hentes fra feltet som gjelder med tanke på vipping (felt  $k_w$ ).

Verdier som hentes fra vinduet for stabilitetsgrunnlag

- ▶ Faktoren  $k_c$  beregnes automatisk med rutinene i Ståltverrsnitt, men kan også overstyres.
- ▶  $M_{cr}$  er i utgangspunktet inndata, men et kvalifisert forslag beregnes automatisk av programmet. Verdien beregnes med rutinene i Ståltverrsnitt, men siden de ikke støtter alle kombinasjoner av stavtyper og momentkurver er det noen begrensninger.
  - Programmet regner alltid  $M_{cr}$  for en generalisert momentkurve, men som selvfølgelig best mulig skal gjenspeile den reelle momentkurvens form.
  - Programmet vil i noen tilfeller velge å regne  $M_{cr}$  for en konstant momentfordeling, selv om dette ikke er tilfellet. Dette er det mest konservative vi kan anta på generelt grunnlag, og gjelder hvis
    - Programmet ikke klarer å bestemme en momentform.
    - Valgt momentform ikke er støttet for gjeldende felttype.
    - Feltet regnes som en utkrager og har et endemoment som ikke er neglisjerbart.
  - Det gis en advarsel dersom et felt ikke støtter kombinasjonen av gjeldende momentkurve og  $k$ -faktorer.

Dersom programmet velger konstant momentfordeling, som i de aller fleste tilfeller er en konservativ nødløsning fordi virkelig momentkurve ikke er støttet eller er vanskelig å tolke, må vi også avgjøre hvilket fortegn på momentet som er mest kritisk. Dersom momentet har samme fortegn i hele feltet i statikkresultatene, velges selvfølgelig det største momentet (med dette fortegn). Ellers velges det momentet som gir den laveste verdien på  $\psi_f$ .

## Interaksjon (EC3-1-1 6.3)

Interaksjonen regnes per felt, med rutinene i Ståltverrsnitt, ved kontroll av formel (6.61) og (6.62) i EC3-1-1. Merk at rutinene i Ståltverrsnitt tar hensyn til at man har 6 snittkrefter og 3 tverrsnittsklasser fra Stålbjelke. Se Dimensjonerende snittkrefter for mer informasjon om hvordan kreftene bestemmes.

Noen viktige detaljer angående interaksjonsberegningen:

- ▶ Verdiene på  $N_{Ed}$  i formlene hentes fra settet med krefter, basert på relevant knekk-retning, som regel sammen med tilhørende  $N_{cr}$ . (Eksempelvis benyttes  $N_{Ed,y}$  alltid i formler som inkluderer  $N_{cr,y}$ , og  $N_{Ed,z}$  i formler der  $N_{cr,z}$  inngår, mens  $N_{Ed,T}$  benyttes der  $N_{cr,T}$  benyttes. Der  $N_{cr,TF}$  benyttes, velges  $N_{Ed}$  som beskrevet i kapittel Knekkning.)
  - Rutinene i Ståltverrsnitt tar hensyn til den ugunstige effekten fra torsjonsknekkning ved å modifisere  $\chi$ ,  $N_{cr}$  og  $\lambda$  for én eller begge aksene (y og z) med tilsvarende T- og TF-verdier. Dette er beskrevet i kapittelet «Reduksjonsfaktorer for bøyning ( $\chi_y$  og  $\chi_z$ )» i brukermanualen til Ståltverrsnitt. Reglene i dette kapittelet modifiseres litt når vi kaller disse rutinene fra Stålbjelke.
    - Det skal fortsatt være usymmetri som er det primære kriteriet for å avgjøre hvilke verdier (y- eller z-verdiene) som skal modifiseres.
    - Ved dobbeltsymmetri legges det til et nytt kriterium før de 4 som er beskrevet der, som sier at høyeste verdi på  $\frac{N_{Ed}}{\chi}$  skal angi kritisk akse.
    - Selve modifiseringen av henholdsvis y- og/eller z-verdiene må i Stålbjelke også se på tilhørende  $N_{Ed}$ , slik at det er det settet som maksimerer  $\frac{N_{Ed}}{\chi}$  som skal benyttes. I interaksjonen benyttes dette settet da konsekvent i alle formler. (Dersom f.eks. y-verdiene modifiseres, og  $\frac{N_{Ed,T}}{\chi_T} < \frac{N_{Ed,y}}{\chi_y}$ , skal  $N_{Ed,T}$ ,  $N_{cr,T}$ ,  $\lambda_T$  og  $\chi_T$  benyttes i stedet for tilsvarende y-verdier i alle beregningene som formel (6.61) og (6.62) innebærer.)
  - I tillegg A er det ikke helt innlysende hvilke feltpyper de ulike verdiene skal hentes fra. Dette er derfor presisert her:
    - $\epsilon_y$  benytter verdiene fra feltet for vipping.
    - $n_{pl}$  benytter største  $N_{Ed}$  (den mest negative) fra de tre feltpypene.
    - $\bar{\lambda}_0$  benytter modifiserte verdier på  $N_{Ed,z}/N_{cr,z}$ , som beskrevet like ovenfor.
  - I formel (6.61) og (6.62) beregnes  $\Delta M_{Ed}$  for tverrsnittsklassen og normalkraften som gjelder for den aktuelle feltpypen. Dersom  $\Delta M_{Ed}$  har motsatt fortegn i forhold til tilhørende  $M_{Ed}$ , settes  $\Delta M_{Ed} = 0$ . (Programmet regner ikke med stabiliserende moment).
- ▶ På samme måte hentes dimensjonerende moment,  $M_{Ed}$ , fra verdien som er relevant i hvert enkelt tilfelle. (Eksempelvis kombineres alltid  $M_{y,Ed}$  med  $W_y$ .)
  - I formler som ser på vipping, normalt der  $M_{cr}$ ,  $\lambda_{LT}$  eller  $\chi_{LT}$  også inngår, er det momentet fra settet som gjelder med tanke på vipping som benyttes. Ellers hentes momentene fra settene som relaterer seg til knekking om y- eller z-aksen.

- ▶ I tillegg A og B er det den verste av de 3 tverrsnittsklassene som avgjør om interaksjonsfaktorene  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$  og  $k_{zz}$  beregnes etter reglene for plastisk eller elastisk analyse.
- ▶ Verdien på  $N_{Rk}$  i formel (6.61) og (6.62) beregnes basert på den verste tverrsnittsklassen fra y- og z-feltene.
- ▶ Det er verd å merke seg at  $L_{cr,y}$  og  $L_{cr,z}$  settes til 0 når man regner med 2. ordens analyse. I så fall blir også  $\chi_y = 1,0$  og  $\chi_z = 1,0$ , mens slankhetene blir 0,0 og  $N_{cr}$  blir uendelig.

### **Momentfaktorer for interaksjon**

Momentfaktorene for interaksjon blir beregnet etter formlene i tillegg A og/eller B i NS-EN 1993-1-1 og etter figur 4.2 i NS-EN 1993-1-2 for brann. Se Stabilitetsgrunnlag og brukermanual ISY Design Ståltverrsnitt for mer informasjon.

Nødvendige inndata er:

- ▶ Momentkurvens form.
  - Programmet analyserer statikkresultatene og autoberegner momentkurvens form. Merk at dette gjøres for maks/min-verdier da sub-kombinasjoner ikke lagres fra statikken.
- ▶ Momentets intensitet i venstre og høyre opplegg.
  - For andre momentkurver enn tilnærmet lineært trengs også momentet midt i feltet.
- ▶ For tillegg A:
  - Forholdet mellom største utbøyning og største moment, begge med absoluttverdi.
  - Som i Ståltverrsnitt regnes  $C_{mi0A}$ -faktorene etter tabell A.2 i EC3-1-1, men i Stålbjelke regner vi med nøyaktige forskyvninger og momentverdier fra statikkresultatene. Feltets største absolutte forskyvning og absolutte moment (ikke nødvendigvis i samme x-koordinat) benyttes, samt dimensjonerende normalkraft  $N_{Ed}$  velges som den mest kritiske trykk-kraften (største negative normalkraft) i feltet.
- ▶ Øvrige verdier (inklusive  $N_{cr}$  i tillegg A) blir beregnet ut fra stavdata for tverrsnittet.

Selv om programmet klarer å finne en momentfordeling med tilhørende momenter i venstre ende, midten og høyre ende, er det ikke alltid at dette er en momentkurve som beregningene støtter. I noen tilfeller blir derfor momentfaktorer og kritisk vippemoment ( $M_{cr}$ ) beregnet for en mer konservativ momentkurve enn den reelle.

**NB:** Vær kritisk til de autoberegnete verdiene. Statikkresultater og oppleggsbetingelser benyttes til å regne verdiene, men kompliserte modeller kan føre til mindre nøyaktige beregninger. Dette gjelder også verdier relatert til vipping.

### **Utkragere**

Et felt blir definert som utkrager dersom  $k > 1,0$  i den aktuelle retningen. Ved 1. ordens analyse kan ikke utkragerer kontrolleres for interaksjon når vi har både vipping og knekking, men vi kan det når kun en av dem kan oppstå.

For beregning av utkragerer har programmet behov for å definere en av endene som «den frie enden». For normale tilfeller er dette innlysende, men for sære oppleggsbetingelser er det ikke alltid like enkelt å vite hvilken ende dette er. Programmet definerer derfor dette på følgende måte:

1. Hvis en av endene har full fastholding av både rotasjon og translasjon blir dette regnet som «den fastholdte enden», og den andre blir da «den frie enden». Dette gjelder uansett, også selv om den frie enden skulle vise seg å være fastholdt den også. (Dette kan f.eks. skje dersom bruker overstyrer k-faktoren i geometrien til en verdi større enn 1,0, men er så sært at programmet ikke tar hensyn til dette.)
2. Dersom vi ikke finner noe fastholdt opplegg i punkt 1, definerer programmet at enden med det minste absolutte momentet fra statikken er «den frie enden» av utkrageren.

Detaljene for beregningen finnes i brukermanualen til Ståltverrsnitt.

## Branndimensjonering

Branndimensjoneringen blir gjort med rutinene i Ståltverrsnitt. I tillegg skal statikkberegningen ta hensyn til den reduserte E-modulen,  $E_{fi} = k_{E,\theta} E$ . Merk at  $N_{cr}$  og  $M_{cr}$  (autoberegnet eller brukerdefinert) er forventet angitt ved 20 grader Celcius, også for branndimensjonering. De inngår så i formler for konstruksjonens slankhet, som modifiseres i rutinene i Ståltverrsnitt.

I kapittelet Dimensjonerende snittkrefter forklares hvilke dimensjonerende krefter som benyttes og hvordan de finnes. For brann gjøres de samme rutinene. Det vil si at vi samler, finner krefter fra og dimensjonerer alle bruddgrensekombinasjoner og brannkombinasjoner for seg. Det er reflektert i resultatene da bruker kan velge om han vil se resultatene fra bruddgrense eller brann.

For mer informasjon om branndimensjonering se brukermanualen til Ståltverrsnitt. Samt der brann ellers inngår i teorigrunnlaget er det beskrevet der.

# Begrensninger

De fleste begrensningene er gjort rede for i teorikapittelet, men i dette avsnittet vil du finne andre begrensninger som er verdt å kommentere. Legg merke til at mange av de samme begrensningene i ISY Design Ståltverrsnitt også gjelder for Stålbjelke. Se egen brukermanual for mer informasjon, men her er en kort oppsummering:

- ▶ Vipping for asymmetriske tverrsnitt kontrolleres ikke av programmet, da teorigrunnlaget forutsetter symmetri om svak akse.
- ▶ Interaksjon i stabilitetskontrollen for asymmetriske tverrsnitt kontrolleres, men programmet gir en advarsel siden interaksjonsformlene som benyttes er utledet for dobbelsymmetriske tverrsnitt (for både tillegg A, tillegg B og brann).
- ▶ Summasjon av utnyttelse benyttes for plastisk spenningskontroll for de tverrsnittsformer som ikke er eksplisitt nevnt i kap. 6.2.9.1 i EC3-1-1, noe som er på den sikre siden. For tverrsnitt med høy grad av asymmetri kan dette føre til at plastisk utnyttelse blir høyere enn elastisk utnyttelse. Summasjon av enkeltutnyttelser benyttes også for tverrsnittsklasse 4.

## Usymmetriske tverrsnitt i Stålbjelke

Alle reglene i Eurokoden gjelder egenskaper ved hovedakser, så alle usymmetriske tverrsnitt må beregnes i hovedaksene. Dette håndteres i tverrsnittsberegningen i hver enkelt node, men det har noen konsekvenser for mulighetene i Stålbjelke.

For at det skal være mulig å regne på f.eks. global stabilitet *må* oppleggene i modellen være orientert i samme aksestystem som tverrsnittets hovedakser. Dette betyr at f.eks. L-profiler ikke kan ligge orientert med vertikalt steg og horisontal flens, men må ligge i en vinkel slik at hovedaksene er vannrette / loddrette.

Det er likevel lagt inn en mulighet for å regne på L-profiler som ligger orientert med horisontal flens og vertikalt steg, men da er det oppleggene som vil bli liggende i en vinkel, tilsvarende vinkelen på hovedaksene til tverrsnittet. I praksis er dette egentlig bare en visuell rotering av hele modellen. Resultatene blir altså det samme dersom brukeren i stedet velger å dekomponere lastene og angi dem i tverrsnittets hovedakser.

Muligheten for å ha vertikalt steg og horisontal flens har likevel en begrensning. Dersom modellen består av flere staver med ulike vinkler på hovedaksene vil det være umulig å vinkle modellen slik at alle steg/flenser blir horisontale/vertikale. Modellen vil da alltid bli vist slik at hovedaksene ligger i det globale aksestystemet (y/z).

## Elastisk skjærspenningsfordeling

Elastisk skjærspenningsfordeling er ikke støttet i ISY Design Stålbjelke, selv om det er støttet i Ståltverrsnitt. Grunnen er at det er for tid- og ressurskrevende å beregne. I tillegg anbefaler Eurokode normalt ikke bruk av elastisk skjærspenningsfordeling (EN 1993-1-1: 6.2.6(4)). Dersom man ønsker beregning av den elastiske skjærspenningen i enkelte snitt, kan man benytte funksjonen for inspeksjon av enkeltsnitt i ett av resultat-vinduene, og kjøre den ønskede beregningen på tverrsnittsdokumentet i stedet.

## Tverrkrefter

Tverrkrefter er ikke støttet i ISY Design Stålbjelke, men kan enkelt beregnes i ISY Design Ståltverrsnitt (f.eks. ved inspeksjon av enkeltsnitt).



## Felt med varierende tverrsnitt

EC3-1-1 har ikke veldefinerte metoder for stabilitetskontroll på bjelker med varierende tverrsnitt i et felt. Programmet beregner derfor ikke noe relatert til stabilitet dersom det eksisterer minst ett felt med varierende tverrsnitt. Her menes «varierende tverrsnitt» forskjellige tverrsnittsgeometrier eller like tverrsnitt som er rotert i forhold til hverandre.

## Optimalt tverrsnitt

Beregning av optimalt tverrsnitt begrenses til én tverrsnittsgeometri i bjelken. I ISY Design Stålbjelke støttes varierende tverrsnitt. Derimot kontrolleres ikke stabilitet ved varierende tverrsnitt i et felt. Samtidig unngår man problemet ved endring av statikkresultater dersom optimalt tverrsnitt inkluderte varierende tverrsnitt. Antall ganger statikken beregnes kan da begrenses betraktelig, noe som fører til kortere total beregningstid.

Legg merke til at dersom modellen har minst ett fjæropplegg kan beregningen av optimalt tverrsnitt ta en stund da statikken (og dimensjonering) må beregnes for hvert tverrsnitt.

Optimalt tverrsnitt kan ikke bestemmes dersom ikke alle resultatene kan beregnes for tverrsnittene. Et eksempel er utkrager der både knekking og vipning er relevant slik at interaksjon ikke kan beregnes.

# Versjonshistorikk

Dette kapitlet er en logg for modulen som blir beskrevet i denne brukerveiledningen. Etterhvert som ISY Design blir revidert vil versjonsnummer og hva revisjonen inneholder bli beskrevet her.

## Versjon 1.0

- ▶ Lansert i ISY Design v. 5.0.
- ▶ Første versjon av ISY Design som inkluderer Stålbjelke.

## Versjon 1.0.2

- ▶ Lansert i ISY Design v. 6.0.
- ▶ Temperaturen er nå inkludert i rapporten for brann-kombinasjoner.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.1

- ▶ Lansert i ISY Design v. 6.1.
- ▶ Kontroll av nedbøyningskrav for bruksgrensekombinasjoner er lagt til.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.2

- ▶ Lansert i ISY Design v. 7.0.
- ▶ Endret til å benytte tyngdetetthet istedenfor massetetthet i materialdata.
- ▶ Motstandsmoment,  $W_{pl}$ , kunne bli beregnet feil for tverrsnitt med hull på grunn av rekkefølgen på punktene til hullet. Dette er rettet.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.2.1

- ▶ Lansert i ISY Design v. 7.1.
- ▶ Produktstandardene for stålqualiteter har fått oppdaterte verdier på enkelte stålsorter.
- ▶ Staver med ulikt tverrsnitt vises nå i grafikken med tyngdepunktet i samme koordinat, for å bedre illustrere hvordan beregningene utføres.
- ▶ Inkludert endringer for lastkombinasjoner etter formel 6.10a for svensk nasjonalt tillegg.
- ▶ Inkludert endringer i beregning av knekkurver for finsk nasjonalt tillegg.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.2.2

- ▶ Lansert i ISY Design v. 8.0.
- ▶ Nye lasttilfeller blir nå regnet som "dominerende" som standardverdi.
- ▶ Lasttilfelle for egenvekt av bjelken blir nå automatisk lagt til ved opprettelse av nye dokumenter.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.2.3

- ▶ Lansert i ISY Design v. 8.1.
- ▶ Fikset en feil som gjorde at noen verdier i tabellen til stabilitetsgrunnlaget ikke ble oppdatert.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.3

- ▶ Lansert i ISY Design v. 8.2.
- ▶ Lagt inn støtte for lastgrupper/lastsituasjoner (i Enterprise versjonen). Se kapittel «Lastsituasjoner (lastgrupper)» for mer informasjon.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.3.1

- ▶ Lansert i ISY Design v. 8.3.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.3.2

- ▶ Lansert i ISY Design v. 8.5.
- ▶ Forbedret beregning av langtidsandel av lasttilfeller.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.3.3

- ▶ Lansert i ISY Design v. 9.1.
- ▶ Fikset en feil som kunne føre til programkrasj ved beregning av optimalt tverrsnitt der det ikke er lagt inn noen tverrsnitt i dokumentet.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.

## Versjon 1.3.4

- ▶ Lansert i ISY Design v. 9.2.
- ▶ Fikset en feil som kunne føre til at utnyttelse for forskyvning overlapper med andre utnyttelser i rapporten.
- ▶ Diverse mindre forbedringer som ikke påvirker resultatene.