

Brukerdokumentasjon

ISY Design Statikkbjelke

Norconsult Digital

Norconsult Digital AS

Kjørboveien 16
1337 SANDVIKA

Sentralbord: 67 57 15 00

Brukerstøtte: 02467

E-post: isydesign@norconsultdigital.no

Hjemmeside: <https://norconsultdigital.no>

© Copyright 2012-2026 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	4
Brukergrensesnitt	5
Verktøylinje.....	5
Fil.....	5
Hjemme	5
Utseende.....	5
Navigasjonsmeny	5
Meldingsliste.....	6
Fortegn i grafiske og alfanumeriske inndata	6
Praktisk bruk	7
Modellering av konstruksjonen	7
Resultater.....	9
Tips og triks	9
Lastsituasjoner (lastgrupper)	9
Retninger og fortegn.....	10
Beregning om to akser og normalkrefter	10
Generering av lastkombinasjoner.....	10
Knekking og normalkrefter	10
Ledd	10
Klipp og lim	10
Teori	11
Generelt	11
Materialdata	11
En søyles stivhet.....	11
Statikkberegning etter matrisemetoden	12
Matriser og vektorer brukt i statikkberegningen	12
Inndeling av staver i elementer	13
Fortegn.....	13
Bjelkens stivhet.....	14

Normalkrefter.....	14
Momenter og skjærkrefter.....	14
2. ordens effekter.....	16
Ledd.....	16
Total stivhetsmatrise for elementet.....	18
Oppbygging av modellens stivhetsmatrise.....	19
Løsning av ligningssettet.....	19
Lastvektor.....	19
Oppleggskrefter og snittkrefter på elementet.....	20
Kontroll av deformasjoner.....	21
Lastkombinasjoner.....	21
Generering lastkombinasjoner (ECO Tillegg A1).....	22
Superponering av lasttilfeller.....	26
Ekstremverdier.....	27
Lasttog.....	27
Beregningsmåte.....	28
Superponering av lasttog.....	28
Begrensninger	29
Feilmeldinger fra programmet.....	29

Introduksjon

Funksjon

ISY Design Statikkbjelke er et verktøy for å beregne snittkrefter og forskyvninger for en kontinuerlig bjelke. Under er en kortfattet beskrivelse av nøkkelfunksjonaliteten.

- ▶ Støtte for ubegrenset antall forskjellige tverrsnitt, hvor brukeren gir inn tverrsnittskonstantene.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall oppleggstyper og fjær.
- ▶ Støtte for forskjellige tverrsnitt innenfor samme felt.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall lasttilfeller og lastkombinasjoner.
- ▶ 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

ISY Design finnes i to versjoner – Standard og Enterprise. Standardversjonen erstatter tilsvarende moduler i G-PROG Teknikk, mens Enterprise-versjonen gir en rekke nye og etterspurte muligheter. Utvidelsene i Enterprise i forhold til Standard er disse:

- ▶ Laster om to akser
- ▶ Normalkrefter og 2. ordens teori
- ▶ 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

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.

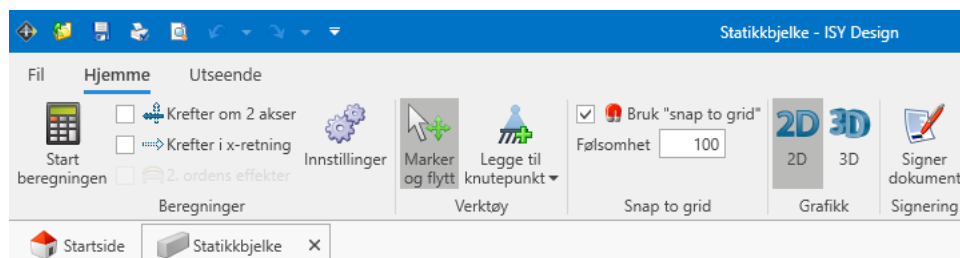
Supporttjenesten er tilrettelagt med en portal med «din-side», der du kan registrere deg som bruker, melde inn saker og følge opp status på dine egne saker. I tillegg inneholder portalen en egen side med tilgang til spørsmål og svar innen ulike tema. Du kan registrere deg som bruker ved å logge inn på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

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 flikler, Fil, Hjemme og Utseende. I tillegg finnes noen hurtigvalg øverst i skjermbildet.



Fil

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

Hjemme

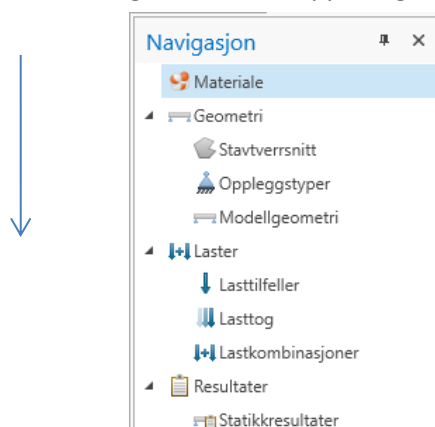
Her vises alle muligheter du har for å legge inn og endre data. Innholdet varierer, slik at det er tilpasset hva som vises i skjermbildet. Merk at i gruppen for beregninger ligger knappen «Innstillinger» som gir deg muligheten å editere beregningsinnstillinger.

Utseende

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

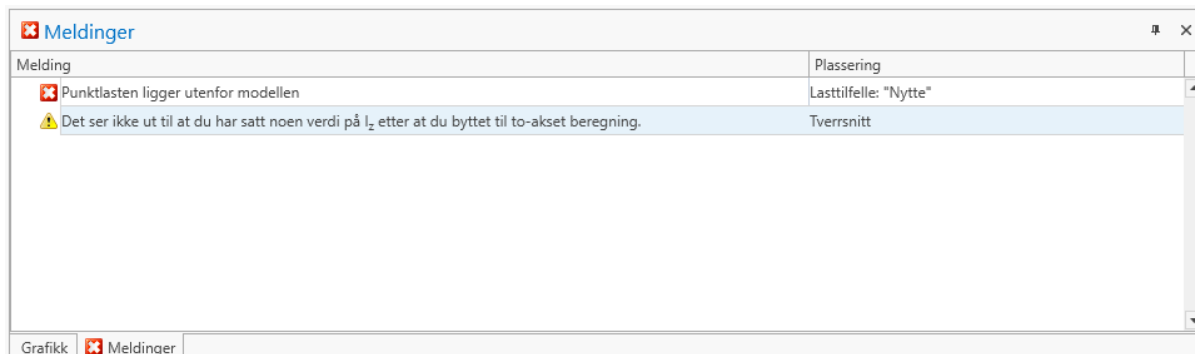
Navigasjonsmeny

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.



Meldingsliste

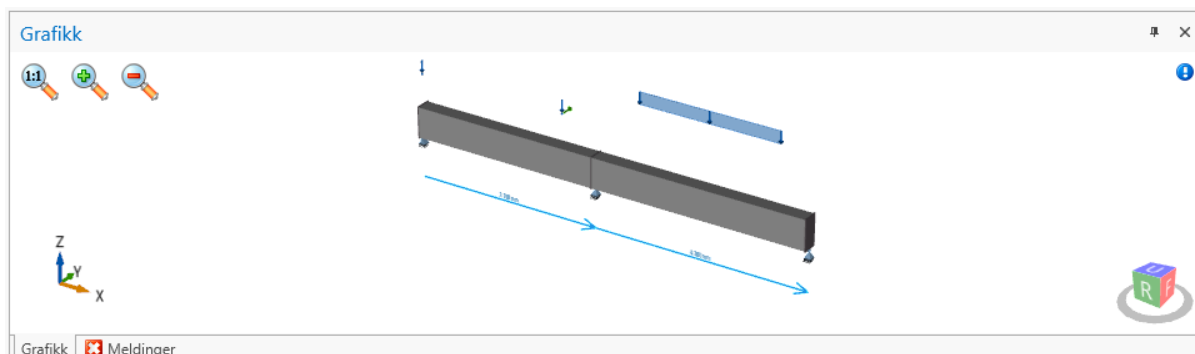
Skulle vise seg at modellen er ustabil eller du har lagt inn ugyldige data, vises det i *meldingslisten* (se figur). Alle feil, advarsler og informasjonsmeldinger havner her. Det samme gjelder for valideringer som feiler.



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 vindu hvor meldingen oppsto.

Fortegn i grafiske og alfanumeriske inndata

Merk at programmet bruker et konsekvent høyrehånds koordinatsystem, slik som Eurokode definerer. Dette har X-aksen innover, Y-aksen mot venstre og Z-aksen oppover. Dette er vist nede i hjørnet i grafikkvinduet. Her er X-aksen brun, Y-aksen grønn og Z-aksen blå.



Men fordi de fleste brukere er vant til å tenke X-Y-koordinater når de beskriver et plan, har vi valgt å vise de numeriske Y-koordinatene med omvent fortegn i de alfanumeriske tabellene.

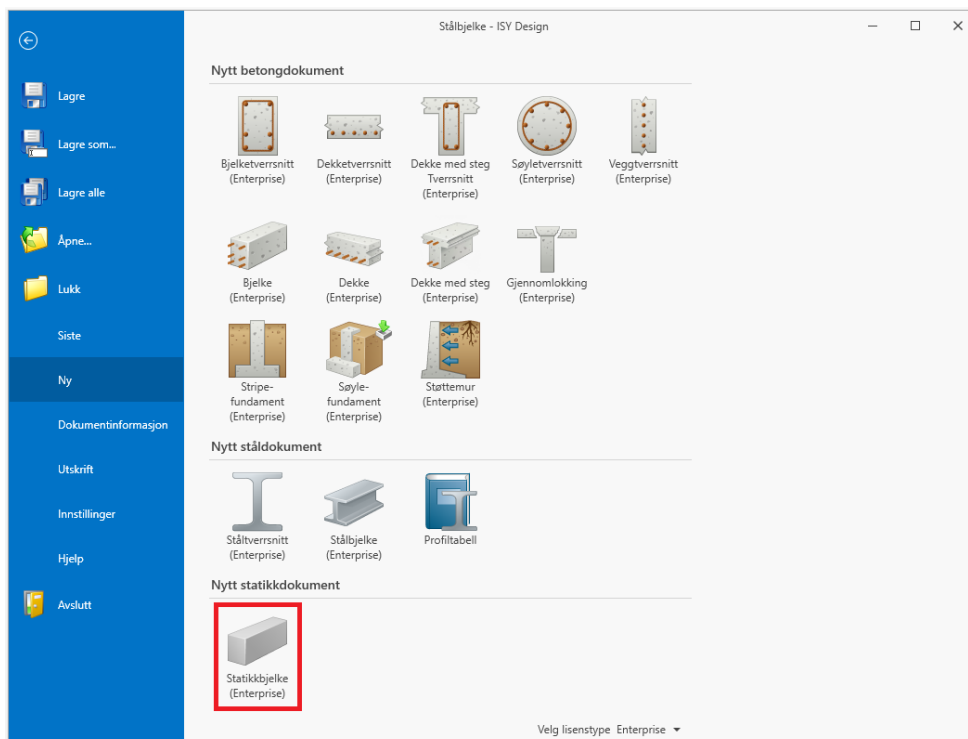
Praktisk bruk

Her gjennomgås et typisk tilfelle. 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 skjermtutklippene kan avvike noe fra det du ser i programmet.

Modellering av konstruksjonen

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

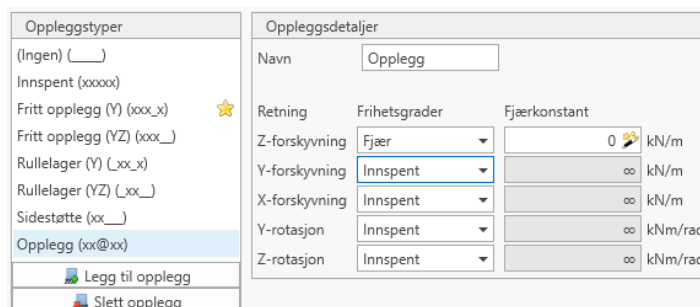


2. Endre eventuelt materialdata (følg navigasjonsmenyen).

3. Legg inn geometridata

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

- ▶ Stjernen ved siden av navnet angir denne er favoritt (standard) når du lager nye felt og opplegg. Du må klikke på stjernen (ikke i teksten) for å endre valget av favoritt.



- ▶ For fjæropplegg har du også muligheten å bruke en veiviser for å beregne fjærstivhetene:

4. Modellgeometri.

- ▶ Du kan endre både stavlengder og knutepunktskoordinater som du ønsker.
- ▶ Du kan også plassere og flytte knutepunkter grafisk, og endre feltlengder.

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 Ψ -faktorene etter eget ønske. Ellers er de forhåndsdefinert i henhold til tabell NA.A.1.1 i NS-EN-1990.
- ▶ Det er kun mulig å angi foreskrevne forskyvninger i de retninger hvor det aktuelle knutepunktet er låst.

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 NS-EN 1990. Merk at du kan velge om du vil overskrive tidligere genererte lastkombinasjoner.



- ▶ Øvrige lastkombinasjoner bygger du opp selv.

Resultater

- Disse vises i tabeller. Hvis du ønsker å se nærmere på noen detaljer, kan tabellene ekspanderes.

Lastkombinasjoner		Vertikale krefter		Horisontale krefter		Aksielle krefter		Forskyvning		Oppleggskrefter					
ID	M _{z,max} [kNm]	M _{z,min} [kNm]	M _{x,max} - x [mm]	M _{x,min} - x [mm]	M _{y,max} - y [mm]	M _{y,min} - y [mm]	V _{z,max} [kN]	V _{z,min} [kN]	V _{x,max} - x [mm]	V _{x,min} - x [mm]	V _{y,max} - y [mm]	V _{y,min} - y [mm]	M _{z,1,max} [kNm]	M _{z,2,max} [kNm]	
1	56,2	3 000	-37,1	0	118,9	3 175	-31,1	2 833	-37,1	-27,1					
2	0,0	8 000	-27,1	3 700	0,0	3 700	-6,3	7 600	-27,1	0,0					
Elementsnittkrefter		Nodeforskyvninger		M _{z,1,max} [kNm]		M _{z,1,min} [kNm]		V _{z,1,max} [kN]		V _{z,1,min} [kN]		M _{z,2,max} [kNm]		M _{z,2,min} [kNm]	
ID	x ₁ [mm]	x ₂ [mm]	M _{z,1,max} [kNm]	M _{z,1,min} [kNm]	V _{z,1,max} [kN]	V _{z,1,min} [kN]	M _{z,2,max} [kNm]	M _{z,2,min} [kNm]	V _{z,2,max} [kN]	V _{z,2,min} [kN]	M _{z,2,max} [kNm]	M _{z,2,min} [kNm]	V _{z,2,max} [kN]	V _{z,2,min} [kN]	
22	3 700	3 880	0,0	-27,1	0,0	-6,3	0,0	-25,9	0,0	-6,3	0,0	-24,8	0,0	-6,3	
23	3 880	4 060	0,0	-25,9	0,0	-6,3	0,0	-23,7	0,0	-6,3	0,0	-22,5	0,0	-6,3	
24	4 060	4 240	0,0	-24,8	0,0	-6,3	0,0	-21,4	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	
25	4 240	4 420	0,0	-23,7	0,0	-6,3	0,0	-21,4	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	
26	4 420	4 600	0,0	-22,5	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	
27	4 600	4 800	0,0	-21,4	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	0,0	-20,1	0,0	-6,3	

- ▶ Resultatene er også vist som kurver i grafikken. Her kan du få en dialogboks med alle verdier ved å dobbeltklikke på et element.

Tips og triks

Lastsituasjoner (lastgrupper)

I ISY Design angis laster på lasttilfeller, men programmet støtter også flere lastsituasjoner per lasttilfelle. Da sees lasttilfellet på som en lastgruppe. En lastsituasjon er et sett med laster (punktlaster, linjelaster, osv.) som virker samtidig, og har ingen informasjon om lasttype og lastfaktorer. Derfor må en lastsituasjon være inkludert i et lasttilfelle (lastgruppe) før det kan kombineres i en lastkombinasjon.

Laster angis som standard på lasttilfellet, men dersom det er to eller flere inkluderte lastsituasjoner angis laster der, og programmet viser disse som en tre-liste. Du kan legge til lastsituasjoner ved å trykke på knappen til høyre på navnet til lasttilfellet, eller ved å høyre-klikke på lasttilfellet.

Merk at lastsituasjoner som ligger i et lasttilfelle er hverandre utelukkende. Det vil si at det kun kan opptre én lastsituasjon om gangen i beregningene.

Lasttilfeller						
Navn	Kategori	ψ_0	ψ_1	ψ_2	Dominere	
Klikk her for å legge til en ny rad						
▶ Nyttelast	A: Boliger	0,70	0,50	0,30	<input checked="" type="checkbox"/>	▶
Lastsituasjon 2		-	-	-	<input type="checkbox"/>	
Lastsituasjon 1		-	-	-	<input type="checkbox"/>	
Egenvekt	Egenvekt	1,00	1,00	1,00	<input type="checkbox"/>	

Retninger og fortegn

Vår erfaring er at dette av og til kan virke forvirrende også for den rutinerne brukeren. Vi har derfor utdypet dette i kapitlet Fortegn under Teori, slik at du kan friske det opp regelmessig. I tillegg gir oftest grafikken en oppfatning om de korrekte retningene.

Beregning om to akser og normalkrefter

Når du velger beregning om to akser og normalkrefter er det nødvendig med flere data også for tverrsnittstyper og oppleggstyper. For å minimere muligheten for utilsiktede feil, har vi valgt å håndtere dette på følgende måte:

Når du går fra enakset til toakset beregning blir treghetsmomentet om vertikal akse satt til en standardverdi. Samtidig fremkommer advarsel, slik at ikke denne verdien blir brukt ved en feiltakelse.

Når du velger til normalkrefter, eller velger til toakset beregning, blir de eksisterende oppleggene låst i de nye frihetsgradene.

Av dette følger også at når du går andre veien, så blir de aktuelle verdiene fjernet. For opplegg fører dette til at standardopplegget Fritt opplegg (YZ) og Rullelager (YZ) blir udefinerte, og må gis inn påny.

Hvis du først velger toakset beregning eller normalkrefter etter at du har vært innom disse datagruppene, er det derfor nødvendig å gå tilbake til disse.

Generering av lastkombinasjoner

Når du velger å generere lastkombinasjoner slettes de lastkombinasjoner som eventuelt er generert tidligere dersom du velger å gjøre det (valget ligger i dialogen for generering av lastkombinasjoner). Lastkombinasjoner som du har bygget opp selv blir ikke berørt.

Knekking og normalkrefter

Fordi Statikkbjelke er et rent statikkprogram, uten noen dimensjonering, blir det ikke gjort noen beregning av initialkrumning, eller andre sidekrefter som kreves i de respektive Eurokodene for dimensjonering. Dette fører til at rene normalkrefter, uten sidekrefter, ikke gir noen 2. ordens effekter.

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.

Klipp og lim

I ISY Design er det mulig å kopiere innholdet i det enkelte inndatafelt til utklippstavlen, og deretter inn i et annet datafelt eller til et annet program. I tillegg er det mulig å kopiere en eller flere linjer fra tabeller på denne måten.

Det er å merke seg at enkelte inndatafelt i tabellene har et innhold som ikke lar seg kopiere inn i ISY Design på denne måten. Det er derfor nødvendig alltid å sjekke data etter en slik kopiering.

Teori

Generelt

Formlene for beregningene i Statikkbjelke 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)

Programmet bruker de konstanter og formler som er angitt i det aktuelle nasjonale tillegget. 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.

I hele teorien er det antatt at rekkefølgen til frihetsgraden i matrisene er x , y , z , θ_y og θ_z selv om ikke alle matrisene vil inkludere alle frihetsgrader beholder de samme rekkefølge.

Materialdata

Materialdata i Statikkbjelke består av

E	Elastisitetsmodulen
γ	Tyngdetettheten til materialet
K_{fi}	En faktor knyttet til konstruksjonens pålitelighetsklasse. (Se EN 1990 Tabell B3)

Verdien på K_{fi} bestemmes av konstruksjonens pålitelighetsklasse. Standardversjonen av Eurokode angir at $K_{fi} = 0,9$ for RC1, $K_{fi} = 1,0$ for RC2 og $K_{fi} = 1,1$ for RC3. Dette kan velges fra en nedtrekksmeny i programmet. Programmet antar RC2 for nye dokumenter.

Norsk tillegg: $K_{fi} = 1,0$ for RC3, ellers samme som standardutgaven
Svensk tillegg: γ_d erstatter K_{fi} , men har samme funksjon. $\gamma_d = 0,83$ (RC1), $\gamma_d = 0,91$ (RC2), $\gamma_d = 1,0$ (RC3)
Dansk tillegg: Samme som standardutgaven
Finsk tillegg: Samme som standardutgaven

En søyles stivhet

Dette kapitlet angir hvordan man beregner stivhetene til en søyle som står over og/eller under bjelken. (Tilsvarende gjelder for bjelker foran og bak staven.)

$$K_{\theta_y,c} = \frac{12}{4 - k_s} \frac{E_c I_{y,c}}{L_c}$$

$$K_{x,c} = \frac{12}{4 - 3k_s} \frac{E_c I_{y,c}}{L_c^3}$$

$$K_{y,c} = \frac{12}{4 - 3k_s} \frac{E_c I_{z,c}}{L_c^3}$$

$$K_{z,c} = \frac{E_c A_c}{L_c}$$

E_c	Elastisitets-modul for søylen
$I_{y,c}$	Treghetsmoment for søylen om bjelkens y-akse
A_c	Areal for søylen
L_c	Lengde søylen
$K_{\theta_y,c}$	Bøyestivhet for søylen
$K_{x,c}$	Bøyestivhet for søylen (Oppleggsfjær for bjelkens x-akse)
$K_{y,c}$	Bøyestivhet for søylen (Oppleggsfjær for bjelkens y-akse)
$K_{z,c}$	Aksialstivhet for søylen (Oppleggsfjær for bjelkens z-akse)
k_s	Innspenningsfaktor i borte ende av søylen. Angis av bruker. Må ligge mellom 0 og 1, der 1 er fast innspent og 0 er leddet opplager.

Statikkberegning etter matrisemetoden

Statikkberegningen baserer seg på elementmetoden. En beregner stivheten til de enkelte bjelke - og søyleelementer, bygger opp bjelkens stivhetsmatrise og finner den inverse matrisen, bjelkens fleksibilitetsmatrise. Lastvektorer bygges opp. Forskyvninger, snittkrefter og oppleggskrefter beregnes.

Programmet benytter Euler-Bernoulli bjelketeori som bygger på at plane tverrsnitt forblir plane. Dette er stort sett en svært god antakelse, men for korte, høye og tykke bjelker kan det bli noe unøyaktig. Tommelfingerregel er at Euler-Bernoulli er nøyaktig når $\frac{L}{H} \geq 15$.

Bjelken deles opp i korte element (standardverdi er 20 element per stav). Hvert element har derfor flere frihetsgrader, og matriseberegningen må inneholde både normalkrefter, moment og skjærkrefter. Opplegg blir da definert som punkter hvor en eller flere forskyvninger er låst, vanligvis til 0. For å håndtere 2. ordens effekter må stivhetene modifiseres for element som har normalkraft, noe som vanligvis fører til en iterasjonsprosess.

Størrelsen på matrisene og vektorene varierer basert på valgene som brukeren gjør. Hvis det for eksempel ikke er valgt å ta med krefter i x-retning fjernes radene og kolonnene i matrisene som relaterer seg til dette. Tilsvarende for krefter i y-retning og momenter om z-aksen hvis ikke 2-akset er valgt.

Matriser og vektorer brukt i statikkberegningen

K	Global stivhetsmatrise
F	Global fleksibilitetsmatrise
R	Global lastvektor

r	Global forskyvingsvektor
k	Lokal stivhetsmatrise
f	Lokal fleksibilitetsmatrise
S	Lokal lastvektor
v	Lokal forskyvingsvektor

Inndeling av staver i elementer

Vi deler modellen inn i felter, avgrenset av opplegg. Hvert felt blir delt inn i et brukerdefinert antall elementer, standardverdien er 20. Før inndeling blir det plassert noder ved alle knutepunkter, punktlaster og start og slutt punkt for linjelaster. Resterende noder blir deretter fordelt på de forskjellige delene av feltet. Hver del skal få x antall element, hvor antall element blir bestemt av lengden på delen i forhold til feltet og hvor mange elementer brukeren ønsket.

Dersom noen noder blir sammenfallende ved modellering (ligger mindre enn x % av elements ideelle lengde (feltlengde / antall elementer) fra hverandre) får brukeren en advarsel som gir han muligheten til å justere lasten sin plassering.

I beregningen gir vi en advarsel dersom størrelsen på minste og største elementer er x % (hvor x er ca. 10.000 %).

Fortegn

Fortegnsregler

I teorigrunnlaget og i selve beregningene benytter vi konsekvent et høyrehånds koordinatsystem.

I selve brukergrensesnittet (det du ser på skjerm og utskrift) har vi snudd en del fortegn. Dette har vi gjort for at fortegnreglene skal være mest mulig i trå med vad du er vant til fra før. Nedenfor angis alle fortegn, og vi har markert de som er snudd i forhold til teorigrunnlaget.

Lasttype	Primær akse (i koden)	Primær akse (i GUI)	Sekundær akse (i koden)	Sekundær akse (i GUI)	Aksielt (i koden)	Aksielt (i GUI)
Punkt/linje laster	Positiv oppover	Positiv nedover	Positiv innover	Positiv innover	Positiv mot høyre	Positiv mot høyre
Moment	Positiv med klokken	Positiv med klokken	Positiv mot klokken	Positiv mot klokken		
Foreskrevet forskyvning	Positiv oppover	Positiv nedover	Positiv innover	Positiv innover	Positiv mot høyre	Positiv mot høyre
Foreskrevet rotasjon	Positiv med klokken	Positiv med klokken	Positiv mot klokken	Positiv mot klokken		
Oppleggs-krefter	Positiv oppover	Positiv oppover	Positiv innover	Positiv innover	Positiv mot høyre	Positiv mot høyre

Oppleggs- moment	Positiv med klokken	Positiv med klokken	Positiv mot klokken	Positiv mot klokken		
Snittkrefter	Positiv dreier element med urviser	Grafisk tegnes positivt oppover	Positiv dreier element med urviser	Grafisk tegnes positivt oppover	Positiv er strekk (avviker fra teori)	Positiv er strekk
Moment i tverrsnitt	Positiv gir strekk i underkant	Grafisk tegnes positivt nedover	Positiv gir strekk i bakkant	Grafisk tegnes positivt oppover		
Forskyvning	Positiv oppover	Positiv nedover, grafisk tegnes i henhold til faktisk forskyvning	Positiv innover	Grafisk tegnes i henhold til faktisk forskyvning	Positivt mot høyre	Grafisk tegnes positivt oppover
Rotasjon	Positiv med klokken	Positiv med klokken	Positiv mot klokken	Positiv mot klokken		

Uttrykket "med klokken" tar utgangspunkt i at et vertikalsnitt blir betraktet forfra, hvilket er det samme som grafisk visning i 2D i programmet, og at X-aksen går fra venstre til høyre. Horisontalsnittet blir betraktet ovenfra.

Bjelkens stivhet

Bjelken har konstant stivhet innen hver stav. Stivheten baserer seg på tverrsnittets geometri etter elastisitetsteori.

Elastisitets-modul for statikkbjelke gis som inndata.

Programmet tillater forskjellige tverrsnittsdata for hver stav. Data som brukes er:

A	Tverrsnittsareal
I_y	Tregghetsmoment om y-aksen
I_z	Tregghetsmoment om z-aksen

Derimot ser vi bort fra skjærstivheten.

Normalkrefter

$$\mathbf{k}_x = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Momenter og skjærkrefter

$$\mathbf{k}_i = \frac{EI_i}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & -6L & -12 & -6L \\ \vdots & 4L^2 & 6L & 2L^2 \\ \vdots & & 12 & 6L \\ \text{Sym.} & \dots & \dots & 4L^2 \end{bmatrix}, \text{ hvor } i \in \{y, z\}$$

2. ordens effekter

Vi har sett på 3 alternative beregninger av 2. ordens effekter hvor valget falt på følgende alternativ, hentet fra Bells lærebok, Matrisestatikk¹. Vi bruker absoluttverdien av N ved beregning av k , mens formlene som benyttes avhenger av om N er trykk- eller strekkraft.

$$k = \sqrt{\frac{N}{EI}}$$

$$\phi_1 = \begin{cases} \frac{kL}{2} \cot\left(\frac{kL}{2}\right) & \text{For trykk} \\ \frac{kL}{2} \coth\left(\frac{kL}{2}\right) & \text{For strekk} \end{cases}$$

$$\phi_2 = \begin{cases} \frac{1}{12} \frac{k^2 L^2}{(1 - \phi_1)} & \text{For trykk} \\ -\frac{1}{12} \frac{k^2 L^2}{(1 - \phi_1)} & \text{For strekk} \end{cases}$$

$$\phi_3 = \frac{1}{4} \phi_1 + \frac{3}{4} \phi_2$$

$$\phi_4 = -\frac{1}{2} \phi_1 + \frac{3}{2} \phi_2$$

$$\phi_5 = \phi_1 \phi_2$$

$$\mathbf{k}_2 = \frac{2EI}{L^3} \begin{bmatrix} 6\phi_5 & -3L\phi_2 & -6\phi_5 & -3L\phi_2 \\ \vdots & 2L^2\phi_3 & 3L\phi_2 & L^2\phi_4 \\ \vdots & & 6\phi_5 & 3L\phi_2 \\ \text{Sym.} & \dots & \dots & 2L^2\phi_3 \end{bmatrix}$$

Ledd

Ledd blir tatt høyde for i elementstivhetsmatrisen ved å finne en ekvivalent stivhet som gir momentet blir 0.

$$\mathbf{K}\mathbf{r} = \mathbf{R}$$

¹ «Matrisestatikk – Statistiske beregninger av rammekonstruksjoner» av prof. Kolbein Bell, Tapir Akademisk Forlag, Trondheim 2011.

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix}$$

Ved leddet rotasjon om y-aksen i ende to på elementet blir matrisen delt i 2 grupper hvor frihetsgraden til leddet er i gruppe 2. (Merk at alle symboler her er nye og gjelder innenfor neste avsnitt)

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}$$

$$k_{11}r_1 + k_{12}r_2 = R_1$$

$$k_{21}r_1 + k_{22}r_2 = R_2 = 0$$

$$r_2 = -k_{22}^{-1}k_{21}r_1$$

$$k_{11}r_1 - k_{12}k_{22}^{-1}k_{21}r_1 = R_1$$

$$(k_{11} - k_{12}k_{22}^{-1}k_{21})r_1 = R_1$$

Ved utvidelse av matrisene igjen

$$\left(\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} - \frac{1}{k_{44}} \begin{bmatrix} k_{14} \\ k_{24} \\ k_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{41} & k_{42} & k_{43} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix}$$

$$\left(\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & 0 \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & 0 \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \frac{1}{k_{44}} \begin{bmatrix} k_{14}k_{41} & k_{14}k_{42} & k_{14}k_{43} & 0 \\ k_{24}k_{41} & k_{24}k_{42} & k_{24}k_{43} & 0 \\ k_{34}k_{41} & k_{34}k_{42} & k_{34}k_{43} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix}$$

$$(\mathbf{k} - \mathbf{k}_{ledd})\mathbf{r} = \mathbf{R}$$

Hvor rad og kolonne til leddet i tillegg er nullet ut.

Ledd på slutten

$$\mathbf{k}_{ledd} = \frac{1}{k_{44}} \begin{bmatrix} k_{14}^2 & k_{14}k_{42} & k_{14}k_{43} & 0 \\ \vdots & k_{24}^2 & k_{24}k_{43} & 0 \\ \vdots & & k_{34}^2 & 0 \\ \text{Sym.} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Ledd på starten

$$\mathbf{k}_{ledd} = \frac{1}{k_{22}} \begin{bmatrix} k_{12}^2 & k_{12}k_{23} & k_{12}k_{24} & 0 \\ \vdots & k_{23}^2 & k_{32}k_{24} & 0 \\ \vdots & & k_{24}^2 & 0 \\ \text{Sym.} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

..

Frihetsgradene sorter i vanlig rekkefølge

$$\mathbf{k}_{ledd} = \frac{1}{k_{22}} \begin{bmatrix} k_{12}^2 & 0 & k_{12}k_{23} & k_{12}k_{24} \\ \vdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & & k_{23}^2 & k_{32}k_{24} \\ \text{Sym.} & \dots & \dots & k_{24}^2 \end{bmatrix}$$

Ledd på begge sider kan også utledes, men ettersom invers leddet blir en matrise istedenfor en skalar vil resultatet blir noe mer komplekst så vi antar at elementer kun har ledd på en side. Hvis brukeren har modellert på en måte som gir ledd på begge sider av et element gir vi en feilmelding og ignorer leddene.

Total stivhetsmatrise for elementet

	u_1	v_1	w_1	θ_{y1}	θ_{z1}	u_2	v_2	w_2	θ_{y2}	θ_{z2}
$\mathbf{k} =$	$k_{x,11}$	0	0	0	0	$k_{x,12}$	0	0	0	0
	\vdots	$k_{z,11}$	0	0	$k_{z,12}$	0	$k_{z,13}$	0	0	$k_{z,14}$
	\vdots		$k_{y,11}$	$k_{y,12}$	0	0	0	$k_{y,13}$	$k_{y,14}$	0
	\vdots			$k_{y,22}$	0	0	0	$k_{y,23}$	$k_{y,24}$	0
	\vdots				$k_{z,22}$	0	$k_{z,23}$	0	0	$k_{z,24}$
	\vdots					$k_{x,22}$	0	0	0	0
	\vdots						$k_{z,33}$	0	0	$k_{z,34}$
	\vdots							$k_{y,33}$	$k_{y,34}$	0
	\vdots								$k_{y,44}$	0
	Sym.	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	$k_{z,44}$

u_1	Relatert til forskyvning i x-retning i ende 1
v_1	Relatert til forskyvning i y-retning i ende 1
w_1	Relatert til forskyvning i z-retning i ende 1
θ_{y1}	Relatert til rotasjon om y-aksen i ende 1
θ_{z1}	Relatert til rotasjon om z-aksen i ende 1
u_2	Relatert til forskyvning i x-retning i ende 2
v_2	Relatert til forskyvning i y-retning i ende 2
w_2	Relatert til forskyvning i z-retning i ende 2
θ_{y2}	Relatert til rotasjon om y-aksen i ende 2
θ_{z2}	Relatert til rotasjon om z-aksen i ende 2

Deretter summeres alle "fiktive" nodelaster fra linjelastene i node nr. i med de eksisterende punktlastene (inklusive momentene), og settes inn i den globale lastvektoren \mathbf{R}

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \vdots \\ P_{x,i} \\ P_{y,i} \\ P_{z,i} \\ M_{y,i} \\ M_{z,i} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Som nevnt er dette en tilnærming. Når bjelken deles opp i 20 elementer kan det bli et avvik fra nøyaktig beregning på noen prosent. Avviket er proporsjonalt mot skjærkraften i elementet og omvendt proporsjonalt mot antall element i staven. Hvis det er behov for større nøyaktighet må du derfor øke antallet element per stav.

Foreskrevne forskyvninger

Når en frihetsgrad har en foreskreven forskyvning eller rotasjon må dette håndteres i lastvektoren. Fastholdte frihetsgrader kan sees på som et spesialtilfelle av foreskrevne forskyvninger der forskyvningen er satt til 0. Etersom foreskrevne forskyvninger håndteres som laster blir de også skalert i henhold til gamma og psi faktorene på lastkombinasjonen de inngår i.

En foreskreven forskyvning skal modifisere lastvektoren, \mathbf{R} , på følgende måte

$$\mathbf{R} := \mathbf{R} - d \sum_{\substack{\text{tilknyttede} \\ \text{elementer}}} \mathbf{k}_{ij}$$

der \mathbf{k}_{ij} er vektoren i stivhetsmatrisen på kolonne nr. j .

$$\mathbf{R}_j = d$$

Når bidraget fra elementets stivhetsmatrise trekkes fra \mathbf{R} er det viktig å trekke på riktig frihetsgrad i \mathbf{R} avhengig av hvilket element man betrakter.

j	Indeksen i lastmatrisen til frihetsgraden som er foreskreven
d	Verdien til den foreskrevne forskyvningen.
k	Elementets stivhetsmatrise, inkludert korreksjonen fra 2. ordens effekter.

Oppleggskrefter og snittkrefter på elementet

$\mathbf{r} = \mathbf{FR}$ gir elementrotasjoner og forskyvninger i hver node.

Fra kompatibilitetsmatrisen \mathbf{a} finner vi forskyvningene til element. Deretter finnes snittkreftene av formelen under.

$$\mathbf{S} = \mathbf{kv}$$

De ubalanserte snittkreftene i oppleggspunktene er oppleggsreaksjonene. Disse finner vi ved å se på snittkreftene til tilstøtende elementer på venstre og høyre side av noden hvor opplegget er definert.

$$P_s = \sum_{\substack{\text{Tilstøtende} \\ \text{elementer}}} S$$

Kontroll av deformasjoner

For bruksgrensekombinasjoner kan man velge å legge inn en kontroll av nedbøyninger. Dette gjøres under beregningsinnstillinger. Programmet støtter to typer krav til nedbøyning. Dersom begge er inkludert vil det mest kritiske kravet benyttes i kontroll av forskyvninger. Følgende krav kan settes:

- ▶ Konstant maksimumsverdi, δ_{max} .
- ▶ Dynamisk L/x -krav per stav.
 - Bruker angir x .
 - L er lengden av den aktuelle staven.

Kravene settes for nedbøyning i y- og z-retning hver for seg. I tillegg kan vi velge hvilke bruksgrensekombinasjoner som skal kontrollere nedbøyning. Dette valget gjøres også under beregningsinnstillinger.

Merk:

- ▶ Programmet kontrollerer valgte krav per stav. Dette kan i noen tilfeller være i overkant konservativt.
- ▶ Dersom det regnes om to akser vil kravet kontrolleres for nedbøyning i hver retning for seg.
- ▶ Deformasjoner i x-retning (strekking/komprimering av bjelke) kontrolleres ikke.

Lastkombinasjoner

De enkelte lasttilfeller kombineres i henhold til EN 1990.

Det er mulig å velge mellom flere forskjellige lastkombinasjonstyper:

- ▶ Bruddgrense (STR)
- ▶ Tilnærmet permanent (Bruks)
- ▶ Ofte forekommende (Bruks)
- ▶ Karakteristisk (Bruks)
- ▶ Brann (Ulykke)
- ▶ Ulykke
- ▶ Beregnes ikke

Vi regner med normalkrefter og 2.ordens teori i statikkberegningen, og kan derfor ikke superponere de enkelte lasttilfellene. Lastkombinasjonene blir bygget opp etter formlene nedenfor, beregnet og de relevante resultatene blir lagret.

Generering lastkombinasjoner (ECO Tillegg A1)

Det er lagt opp til at programmet kan generere et forslag til kombinasjoner ut ifra lasttilfellene som er definert, og reglene som Eurokode angir angående oppbygning av lastkombinasjoner.

Programmet kan generere lastkombinasjoner for bruksgrense, bruddgrense og brannsituasjoner.

Verd å merke seg er at for lasttog er standarden svært ulik avhengig av lasttogets type. I programmet har vi tatt utgangspunkt i de mest normale verdiene for vegtrafikkklaster, men både ψ -faktorene og γ -faktorene for en lastkombinasjon med lasttog må alltid vurderes særskilt.

Bruddgrense

Bruddgrensekombinasjonene blir bygget opp på litt forskjellig måte i de ulike nasjonale tilleggene, og valgt tillegg er derfor med på å avgjøre hvordan lastkombinasjonene blir generert. Dersom valgt tillegg endres, skal alle autoberegnete verdier oppdateres i henhold til det nye tillegget. Dette gjelder både lastkombinasjoner som er definert av bruker, og lastkombinasjoner som har fremkommet ved generering. Det blir derimot ikke generert nye lastkombinasjoner basert på det nye nasjonale tillegget. Det er opp til bruker å avgjøre om han/hun ønsker dette. Verdier som er overskrevet av bruker (som altså ikke lengre er autoberegnet) blir heller ikke oppdatert.

I standardversjonen av Eurokode blir bruddgrensekombinasjonene bygget opp ved at programmet lager en kombinasjon etter formel 6.10a i EN1990 (ingen dominerende last), og én kombinasjon etter formel 6.10b for hvert dominerende lasttilfelle.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

(6.10a)

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

(6.10b)

Norsk tillegg: Samme metode som standardutgaven

Svensk tillegg: (6.10a) modifiseres til $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P$, ellers samme metode som standardutgaven

Dansk tillegg: (6.10a) modifiseres til $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P$, og flere kombinasjoner genereres.

Se «Lastkombinasjoner etter dansk tillegg».

Finsk tillegg: (6.10a) modifiseres til $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P$, ellers samme metode som standardutgaven

+	betyr "kombineres med" (regnes som vanlig +)
Σ	betyr "kombinert virkning av"
G	Permanente laster
Q	Variabel påvirkning
P	Forspeningslast (Permanent virkning der en konstruksjon påføres kontrollerte krefter og/eller kontrollerte deformasjoner)
γ_G	Partialfaktor for permanente virkinger
γ_Q	Partialfaktor for variabel påvirkning
γ_P	Partialfaktor for forspenningslaster
ψ_0	Faktor for kombinasjonsverdi for en variabel påvirkning
ψ_1	Faktor for ofte forekommende verdi for en variabel påvirkning
ψ_2	Faktor for en tilnærmet permanent verdi for en variabel påvirkning

ξ Reduksjonsfaktor for ugunstige permanente laster G.

$$\xi = 0,85$$

Norsk tillegg: $\xi = 0,89$ Svensk tillegg: $\xi = 0,89$ Dansk tillegg: Ikke i bruk (I koden er $\xi = 1,0$)

Finsk tillegg: Samme som standardutgaven

Foreskrevne forskyvninger regnes som forspenningskrefter, og inngår altså i «variabelen» P i ligningene over. Til dette trenger vi γ_P , som dessverre ikke er definert noe annet sted enn i svensk tillegg til EN 1990, punkt A1.3.1(1). P -laster er omtalt i EN 1993-1-1 punkt 2.3.1 og 1999-1-1 punkt 2.3.1, der det står

«Lastene [påførte deformasjoner] betraktes sammen med andre permanente påvirkninger G_K som en samlet påvirkning ($G_K + P_K$).»

Vi har valgt å gjøre som i det svenske tillegget, og sette $\gamma_P = \gamma_G$. Tallfestet verdi er å finne i kapitlet « γ_{sup} og γ_{inf} ».

Øvrige verdier på variablene i tabellen over er beskrevet i « ψ -faktorer for lasttilfeller».

Bruksgrense

For bruksgrensekombinasjoner lages en tilnærmet permanent kombinasjon (formel 6.16b) og, for hver dominerende last, en ofte forekommende (6.15b) og en karakteristisk (6.14b) kombinasjon. Programmet henter verdiene for γ og ψ fra tillegg A1, for bygninger.

$$\sum G_{k,j} + P + \sum \psi_{2,1} Q_{k,i}$$

(6.16b, tilnærmet permanent)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

(6.14b, karakteristisk)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

(6.15b, ofte forekommende)

Brann

Lastkombinasjoner for brannsituasjoner blir bygget opp etter reglene i EN 1990 punkt 6.4.3.3. Dette er likt, uansett valgt nasjonalt tillegg, med unntak av hvilken ψ -faktor som skal benyttes på dominerende variabel last. Det genereres en lastkombinasjon for brann for hvert dominerende lasttilfelle, etter formel (6.11b). Dersom det ikke finnes dominerende lasttilfeller, blir det generert en kombinasjon uten. Siden programmet ikke regner med utvidelser av materialer som følge av termisk påvirkning fra brann, er $A_d = 0$ og vi får ligningen

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{fi} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

(6.11b)

ψ_{fi} i formelen over er definert i EN 1991-1-2 punkt 4.3.1(2), og er enten ψ_1 eller ψ_2 avhengig av valgt nasjonalt tillegg. Standardversjonen av Eurokode benytter

$$\psi_{fi} = \psi_2$$

Norsk tillegg: $\psi_{fi} = \psi_1$ for vindlaster, ellers $\psi_{fi} = \psi_2$

Svensk tillegg: $\psi_{fi} = \psi_1$

Dansk tillegg: $\psi_{fi} = \psi_1$

Finsk tillegg: $\psi_{fi} = \psi_1$ for snø-, is- og vindlaster, ellers $\psi_{fi} = \psi_2$

ψ -faktorer for lasttilfeller

Lasttype	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategori A: Boliger	0,7	0,5	0,3
Kategori B: Kontorer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: Forsamlingslokaler, møterom	0,7	0,7	0,6 (FI: 0,3)
Kategori D: Butikker	0,7	0,7	0,6
Kategori E: Lager	1,0	0,9	0,8
Kategori F: Trafikk- og parkeringsarealer for små kjøretøyer (kjøretøyvekt ≤ 30 kN og 8 seter utenom førersete)	0,7	0,7	0,6
Kategori G: Trafikk- og parkeringsarealer for mellomstore kjøretøyer, $30 \text{ kN} < \text{kjøretøyvekt} \leq 160$ kN på to akslinger	0,7	0,5	0,3
Kategori H: Tak	0,0	0,0	0,0
Snølast ²	0,7 (SE: 0,8)	0,5 (SE: 0,6)	0,2
Vindlaster ³	0,6 (SE: 0,3)	0,2	0,0
Temperatur (ikke brann) i bygninger ⁴	0,6	0,5	0,0
Egenvekt	1,0	1,0	1,0
Foreskrevne forskyvninger	1,0	1,0	1,0
Trafikklast (lasttog, Tabell A2.1)	0,75 (NO: 0,7)	0,75 (NO: 0,7)	0,0 (NO: 0,5)

Tabell A.1.1 ψ -faktorer

Norsk tillegg: Endringer i forhold til standardutgaven er kommentert i tabellen

Svensk tillegg: Endringer i forhold til standardutgaven er kommentert i tabellen

Dansk tillegg: Stort sett hele tabellen er endret. Se «Lastkombinasjoner etter dansk tillegg»

Finsk tillegg: Endringer i forhold til standardutgaven er kommentert i tabellen. Egen kategori for is (ikke med i programmet, kan legges inn som brukerdefinert). For tilgangsveier ved kategoriene F og G er $\psi_2 = 0$ (ikke med i programmet)

² Lavere verdier kan benyttes i enkelte land, og kan være avhengig av stedets beliggenhet eller intensitet på snølasten. Dette overlates til bruker å styre.

³ Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter.

⁴ Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter.

γ_{sup} og γ_{inf}

Hver lastkombinasjonslinje i programmet får en øvre, γ_{sup} , og en nedre, γ_{inf} , dimensjonerende partialfaktor. Disse bestemmes av en del forhold, blant annet lastkombinasjonstypen og valgt nasjonalt tillegg.

For standardversjonen av Eurokode gjelder følgende:

Lastfaktor	γ_{sup}	γ_{inf}
γ_G og γ_P (Permanente laster og Foreskrevne forskyvninger)	$1,35K_{fi}$	1,0
$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	$1,50K_{fi}$	0,0
$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$ for lasttog (Tabell A2.4(B))	$1,35K_{fi}$	0,0
γ_G for bruksgrense	1,0	1,0
γ_Q for bruksgrense	1,0	0,0

Tabell A1.2(B) γ -faktorer

Norsk tillegg: γ_G og $\gamma_P = 1,35$ (bruddgrense) (upåvirket av K_{fi}), ellers som standardutgaven. (Se ECO punkt NA.A1.3.1(1))

Svensk tillegg: For lasttog er $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,50K_{fi}$, ellers samme som standardutgaven

Dansk tillegg: Egne regler for bruddgrense (se 0). Samme som standardutgaven for bruksgrense

Finsk tillegg: For γ_G og γ_P benyttes $\gamma_{inf} = 0,9$, ellers samme som standardutgaven

Lastkombinasjoner etter dansk tillegg

For bruksgrense er dansk tillegg identisk til standardutgaven av Eurokode.

Bruddgrensekombinasjoner er derimot utvidet en hel del i dansk tillegg. I stedet for 2 ligninger (6.10a og 6.10b) opererer man i Danmark med kombinasjoner nummerert fra 1 til 5.

- ▶ Kombinasjonsnummer 1 og 2 tilsvarer i praksis det samme som de andre nasjonene har, med kombinasjoner bygget opp etter henholdsvis ligning (6.10a) og (6.10b). Disse benyttes for konstruksjoner som påføres krefter som ikke regnes som geotekniske. Dersom konstruksjonen kun har geotekniske påvirkninger er det ikke nødvendig å ta med disse.
- ▶ Kombinasjonsnummer 3 og 4 bygges også opp etter henholdsvis ligning (6.10a) og (6.10b), på samme måte som 1 og 2, men gjelder konstruksjoner som påføres krefter som følge av geotekniske påvirkninger. Dersom konstruksjonen ikke har geotekniske påvirkninger er det ikke nødvendig å ta med disse. Det samme gjelder dersom $K_{fi} = 1,0$.
- ▶ Kombinasjonsnummer 5 bygges opp etter ligning (6.10a) og skal benyttes sammen med 3 og 4 for geotekniske konstruksjoner. På samme måte som for 3 og 4, trenger ikke 5 være med dersom konstruksjonen ikke har geotekniske påvirkninger.

På samme måte som for alle andre nasjonale tillegg, skal alle kombinasjoner som bygges opp etter ligning (6.10a) tas med én gang, mens (6.10b) bygges opp en gang per dominerende lasttilfelle. Merk også at (6.10a) ikke inkluderer variable laster, i motsetning til standardutgaven. I dansk tillegg ser altså (6.10a) slik ut:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P$$

γ -faktorene som benyttes i bruddgrense-ligningene for dansk tillegg er som følger

Kombinasjonsnr.	Ligning	Lastfaktor	γ_{sup}	γ_{inf}
1	(6.10a)	γ_G og γ_P	$1,2K_{fi}$	1,0

		$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	0,0	0,0
2	(6.10b)	γ_G og γ_P	K_{fi}	0,9
		$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	$1,5K_{fi}$ ($1,4K_{fi}$ for lasttog)	0,0
3	(6.10a)	γ_G og γ_P	1,2	1,0
		$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	0,0	0,0
4	(6.10b)	γ_G og γ_P	1,0	0,9
		$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	1,5 ($1,4$ for lasttog)	0,0
5	(6.10a)	γ_G og γ_P	1,0	1,0
		$\gamma_{Q,1}$ og $\gamma_{Q,i}$	0,0	0,0

Som det fremgår over, benyttes K_{fi} kun for kombinasjonene 1 og 2. For 3, 4 og 5 inngår i stedet K_{fi} i en faktor γ_0 som er med på å modifisere materialfaktoren for de ulike materialene. γ_0 er ikke i bruk i statikkbjelke.

$$\gamma_0 = \begin{cases} 1,0 & \text{for kombinasjon 1 og 2} \\ K_{fi} & \text{for kombinasjon 3 og 4} \\ 1,2K_{fi} & \text{for kombinasjon 5} \end{cases}$$

I det danske tillegget har de også valgt å ha store forskjeller i forhold til standardutgaven av Eurokode når det gjelder ψ -faktorer på lasttilfellene. I Danmark brukes følgende tabell:

Lasttype	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategori A: Boliger	0,5	0,3	0,2
Kategori B: Kontorer	0,6	0,4	0,2
Kategori C: Forsamlingslokaler, møterom	0,6	0,6	0,5
Kategori D: Butikker	0,6	0,6	0,5
Kategori E: Lager	0,8	0,8	0,7
Kategori F: Trafikkarealer (kjøretøyvekt ≤ 30 kN)	0,6	0,6	0,5
Kategori G: Trafikkarealer (30 kN $<$ kjøretøyvekt ≤ 160 kN)	0,6	0,4	0,2
Kategori H: Tak	0,0	0,0	0,0
Snølast ⁵	0,6	0,2	0,0
Vindlast ⁶	0,6	0,2	0,0
Temperatur	0,6	0,5	0,0
Egenvekt	1,0	1,0	1,0
Foreskrevne forskyvninger	1,0	1,0	1,0
Trafikklast (lasttog, Tabell A2.1)	0,75	0,75	0,0

Superponering av lasttilfeller

Hvis det er et lineært forhold mellom lastvirkning og påvirkning kan man optimalisere beregningene ved å bruke superponering av lasttilfeller. Dette er ikke tilfelle når vi har normalkrefter og regner

⁵ Lavere verdier kan benyttes i lastkombinasjoner som ikke inkluderer laster i kategori E, eller i lastkombinasjoner som også inkluderer vindlaster. Dette er opp til brukeren å ta hensyn til.

⁶ Lavere verdier kan benyttes i lastkombinasjoner som ikke inkluderer laster i kategori E. Dette er opp til brukeren å ta hensyn til.

etter 2. ordens teori, men så lenge det ikke er tilfellet er superponering en gunstig optimalisering å gjøre. Dette vil derfor bli gjort for alle lastkombinasjoner som ikke inneholder normalkrefter, eller hvis 2. ordens effekter ikke skal tas med i beregningen.

Når vi superponerer lasttilfeller, regner vi ut lasttilfellene hver for seg med alle faktorer satt til 1,0, før disse slås sammen i hver av lastkombinasjonene. Først finner vi forskyvning, snittkrefter og oppleggskrefter for hvert lasttilfelle som inngår i en lastkombinasjon. Deretter finner vi de totale forskyvningene, snittkreftene og oppleggskreftene for lastkombinasjonen.

For hvert lasttilfelle, i , finnes følgende verdier. «*Value*» er her verdien for enten forskyvningen, snittkraften eller oppleggskraften fra et enkelt lasttilfelle.

$$C_{1,i} = \gamma_{sup,i} \psi * Value$$

$$C_{2,i} = \gamma_{inf,i} \psi * Value$$

$$Max_i = \max \begin{pmatrix} C_{1,i} \\ C_{2,i} \end{pmatrix}$$

$$Min_i = \min \begin{pmatrix} C_{1,i} \\ C_{2,i} \end{pmatrix}$$

Hvis $C_{1,i}$ og $C_{2,i}$ har forskjellig fortegn tas også 0 med som ekstremverdi

$$Max_i = \max \begin{pmatrix} Max_i \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Min_i = \min \begin{pmatrix} Min_i \\ 0 \end{pmatrix}$$

For lastkombinasjonen blir da maks- og min-verdiene summen av alle inngående lasttilfellers maks- og min-verdier. Dette gjøres naturligvis separat for forskyvninger, snittkrefter og oppleggskrefter.

$$Max = \sum_i Max_i$$

$$Min = \sum_i Min_i$$

Med maks og min følger det med tilhørende verdier som også skal summeres opp.

Ekstremverdier

Ved ren statikkberegning blir det laget opp til tre sett med ekstremverdier, et for alle bruddgrensekombinasjoner, et for alle bruksgrensekombinasjoner og et for alle ulykkeskombinasjoner. Det blir kun laget ekstremverdier når det finnes lastkombinasjoner av angjeldende type.

Lasttog

Lasttog kan generelt implementeres på to måter

1. Ved bruk av influenslinjer.
2. Ved å beregne en rekke plasseringer av hvert lasttilfelle, og så slå lasttilfellene sammen i lastkombinasjoner ved bruk av superponering.

Vi har valgt å gå for metode nr. 2 i første omgang, men utelukker ikke å implementere også influenslinjeberegning i framtiden hvis dette viser seg å være en etterspurt funksjonalitet.

Beregningsmåte

Lasttog beregnes på følgende måte, såfremt det ikke inngår normalkrefter og 2. ordens effekter i lastkombinasjonene hvor lasttoget er i bruk:

1. Finn ekstremverdiene til hvert lasttog på følgende måte
 - a. Del distansen mellom start og slutt jevnt inn i det antallet deldistanser som er angitt for lasttoget
 - b. For hver posisjon for lasttoget
 - i. Beregn lasttoget i den gjeldende plasseringen som et vanlig lasttilfelle
 - ii. Sammenlign resultatene med de tidligere plasseringene i samme lasttog, og ta vare på ekstremverdiene for forskyvning, snittkrefter og oppleggskrefter i hvert element / hver node
2. I lastkombinasjonene inngår så lasttogene som om de var vanlige lasttilfeller, men med den forskjell at der lasttilfellene kun har en verdi har lasttoget (som lastkombinasjonene) både en maks og en min verdi.

Hvis lasttoget derimot er i bruk i en lastkombinasjon som inkluderer normalkrefter, og 2. ordens effekter skal tas hensyn til, blir beregningene vesentlig tyngre. Vi må da regne alle tenkelige kombinasjoner av alle lasttog i lastkombinasjonen separat. Det gjøres i praksis ved at antall sub-kombinasjoner i en lastkombinasjon utvides betraktelig. Vi finner først alle posisjoner hvert lasttog kan ha ved å del distansen mellom start og slutt jevnt inn i det antallet deldistanser som er angitt for hvert lasttog. Deretter finner vi alle mulige kombinasjoner av plasseringer av alle lasttog som inngår i lastkombinasjonen. For hver variant av disse plasseringene lages 1-3 sub-kombinasjoner, slik vi gjør for vanlige lasttilfeller.

Legg merke til at det kjøres beregning på alle lastkombinasjonslinjene som ikke er lasttog for seg. Deretter beregnes alle subkombinasjoner av lasttogene med alle andre lasttilfeller. Totalt antall subkombinasjoner for lasttogene er

$$(k_0p_0 + 1)(k_1p_1 + 1) \dots (k_ip_i + 1) \dots (k_np_n + 1)$$

Der k_i er en faktor for antall subkombinasjoner pga. lastlinjens gammafaktorer (1-3), p_i er lasttogets antall posisjoner, og n er antall lasttog.

Superponering av lasttog

Superponering forutsetter at det er et lineært forhold mellom lastvirkning og påvirkning. Dette er ikke tilfelle når vi har normalkrefter og regner etter 2. ordens teori. Av denne grunn kan beregninger med bevegelige normalkrefter bli svært kompliserte og ta lang tid når man regner etter 2. ordens teori, og det er opp til brukeren å begrense disse beregningene.

Superponering er altså kun mulig for lastkombinasjoner som enten ikke inneholder normalkrefter, eller ikke beregnes med 2. ordens teori. Så lenge ett av disse kriteriene er oppfylt kan lastkombinasjoner superponeres på samme måte som lasttilfeller, med den forskjell at det er sett med maks/min-verdier som sammenlignes, i motsetning til enkeltverdier for lasttilfeller.

Begrensninger

De fleste begrensningene er gjort rede for i teorikapittelet.

Feilmeldinger fra programmet

Noen feilmeldinger skyldes at det er laget en statisk instabil konstruksjon. Her er det ikke mulig å angi nøyaktig hva som er feil, men en erfaren bruker vil vanligvis kunne se dette i geometrivinduet. Øvrige brukere kan kontakte vår support.