

Brukerdokumentasjon

ISY Design Gjennomlokking

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
Brukerveiledninger	4
Brukergrensesnitt	5
Verktøylinje.....	5
Fil.....	5
Hjemme	5
Utseende.....	5
Navigasjonsmeny	5
Meldingsliste.....	5
Koordinatsystem.....	6
Praktisk bruk	7
Modellering.....	7
Kapasitetskontroll.....	9
Voutegenerering.....	9
Armeringsgenerering	9
Resultater.....	10
Forutsetninger og antagelser	11
Beregning av β	11
Alternativ beregning	12
Dimensjonerende krefter	12
Jevnt fordelt last (mottrykk)	12
Primære og sekundære kritiske kontrollsnitt	12
Skjærarmering	13
Utsparinger	13
Trykkbruddkontroll	13
Høy voute.....	13
Generering av voute	14
Teorigrunnlag	15

Generelt.....	15
Andre brukerveiledninger	15
Beregninger	15
Materialdata.....	15
Effektiv tykkelse (EC2-1-1: 6.4.2(1))	15
Armering.....	16
Overdekning	16
Lengdearmering	16
Skjærarmering for gjennomlokking.....	17
Krefter	20
Dimensjonerende skjærkraft i kontrollsnittet.....	20
Dimensjonerende moment i kontrollsnittet	21
Gjennomlokking (EC2-1-1: 6.4)	21
Kontroll av skjærkraft ved konsentrerte laster	21
Kontrollsnitt (EC2-1-1: 6.4.2).....	22
Vouter.....	30
Beregne største skjærspenning (EC2-1-1: 6.4.3).....	33
Trykkbruddkontroll (EC2-1-1: 6.4.5(3))	39
Strekkbruddkontroll (EC2-1-1: 6.4.4-5)	41
Nødvendig skjærarmering	43
Forbedringer fra ISY G-Prog	46

Introduksjon

Funksjon

ISY Design Gjennomlokking er et verktøy for dimensjonering av flatdekker i betong ved konsentrerte laster. Under er en skisse av nøkkelfunksjonaliteten.

- ▶ Beregning av gjennomlokking ved konsentrerte laster.
 - Kontroll av alle relevante kontrollsnitt.
 - Beregning av største skjærspenning.
 - Beregning av skjærspenningskapasitet med og uten skjærarmering.
 - Beregning av ytre kontrollsnitt.
- ▶ Automatisk armeringsgenerering basert på minimumskrav og påførte krefter.
- ▶ Beregning og generering av eventuell voute.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall forskjellige tverrsnitt, hvor brukeren gir inn tverrsnittsparemetere.
- ▶ Støtte for ubegrenset antall laster.
- ▶ Beregning av utnyttelser ut fra bruddgrensekrefter.
- ▶ Tallfesting av minimumskrav for armering.
- ▶ 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 for modulen Gjennomlokking er disse:

- ▶ Nye geometrier på belastet flate
- ▶ Nye geometrier på utsparinger
- ▶ Voute
- ▶ Generering av optimal voute

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 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 Gjennomlokking finnes også i følgende veiledninger:

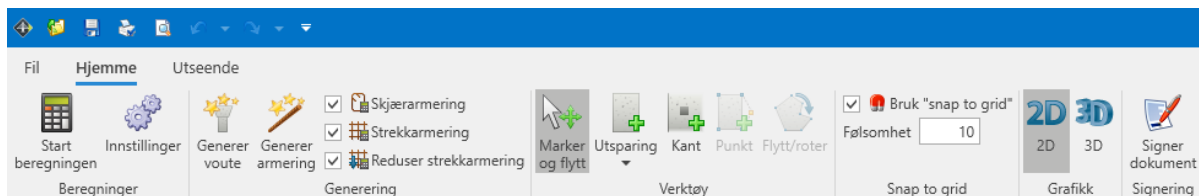
- ▶ Brukermanual ISY Design Generelt
- ▶ Brukermanual ISY Design Betongtverrsnitt

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

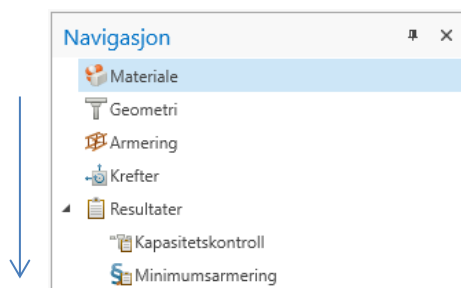
Her vises alle muligheter du har for å legge inn og endre data. Innholdet varierer, slik at det er tilpasset hva som vises i skjermbildet. Merk at i gruppen for beregninger ligger knappen «Innstillinger» som gir deg muligheten å editere beregningsinnstillinger.

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

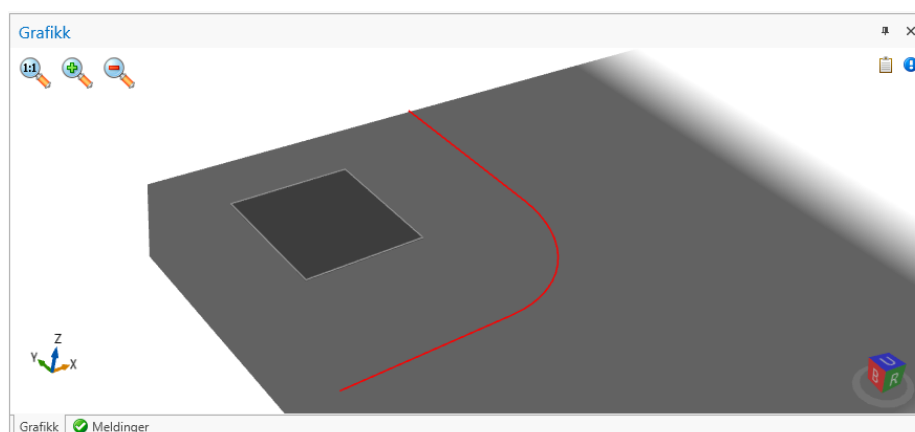
Skulle det vise seg at modellen ikke oppfyller alle krav, eller du har lagt inn ugyldige data, vises det i *meldingslisten* (se figur). Alle feil, advarsler og informasjonsmeldinger havner her. Det samme gjelder for valideringer som feiler.

Melding	Plassering
Det var ikke mulig å beregne r,out. Normalt skyldes dette at deler av ytre kontrollsnitt havner utenfor en platekant.	
✘ Dette er normalt kun et problem for søylefundamenter, hvor en god løsning vil være å legge skjærarmoring i hele sålen. (3 feil) Merk at området som må armeres, som vises i grafikken, ikke er komplett!	Flere plasseringer
✘ En eller flere utnyttelser / kontroller ble ikke godkjent for dette lasttilfellet / kontrollsnittet. (12 feil)	Flere plasseringer
✘ Kapasitetskontrollen ble ikke godkjent.	Resultater, Sammendrag
✘ Nødvendig avstand til ytterste rad skjærarmoring er ikke tilfredsstillt (3 feil)	Flere plasseringer
✘ Nødvendig skjærarmoring ble ikke godkjent.	Resultater, Sammendrag

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.

Koordinatsystem

Merk at programmet bruker et konsekvent høyrehånds koordinatsystem, slik som Eurokode definerer. Dette har X- og Y-aksen i planet til dekket, og Z-aksen normalt på i retning langs «søylen». Dette er vist nede i hjørnet i grafikkvinduet. Her er X-aksen brun, Y-aksen grønn og Z-aksen blå.



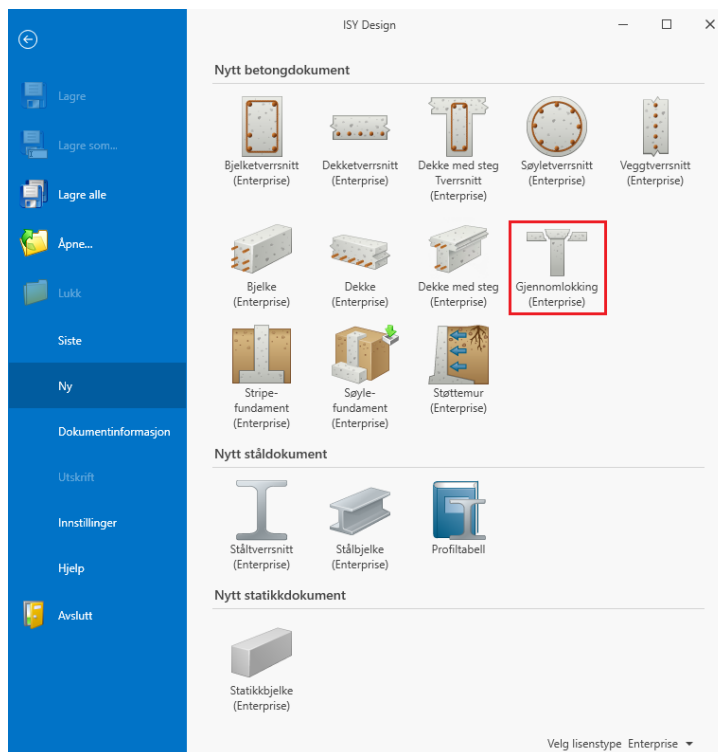
Praktisk bruk

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.

Modellering

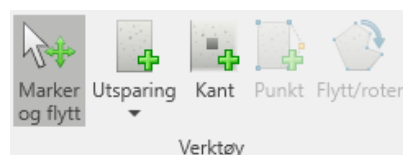
1. Opprett et nytt gjennomlokkingsdokument, som vist i figuren.



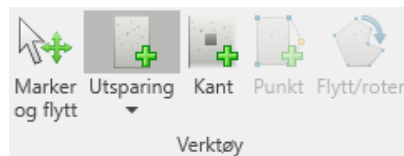
2. Legg inn materialdata for betongen (følg navigasjonsmenyen).

3. Legg inn geometridata

- ▶ Angi data for betongdekket.
- ▶ Angi eventuelle kanter.
 - Kanter kan også legges til og editeres grafisk.



- ▶ Legg til voute om ønskelig (Enterprise).
- ▶ Angi tverrsnittsdata og plassering av belastet flate.
- ▶ Angi tverrsnittsdata og plassering av eventuelle utsparinger.
 - Utsparinger kan også legges til og editeres grafisk.



Tverrsnittstyper: Du kan velge en predefinert tverrsnittstype, for eksempel *Rektangulær* eller *Sirkulær*.

- ▶ Hver type har justerbare parametere, slik som høyde eller flensbredde.
 - Alle parametere kan endres numerisk under tverrsnittsdata.
 - De fleste parametere kan også endres grafisk.

Alternativt kan du velge tverrsnittstypen *Generell*. Her kan alle tverrsnittskoordinatene manipuleres direkte, enten numerisk (se figur) eller grafisk

- ▶ Grafisk innleggelse av punkt: Velg *Punkt* og klikk det på plass. Punktet blir plassert umiddelbart etter det punkt som er markert
- ▶ Merk: Hvis du går direkte fra en predefinert tverrsnittstype til *Generell*, beholdes geometrien fra den forhåndsdefinerte typen.

Koordinater	
Legg til	Sett inn
Slett	
x [mm]	y [mm]
* Klikk her for å legge til en ny rad	
▶ 150	-150 ▲
150	150

- ▶ For generelle geometrier kan man flytte og rotere med en egen funksjon som man finner i verktøylinjen.

Flytt/roter punktene ✕

Forskyvning

x mm

y mm

Vinkel °

4. Legg inn armering.

- ▶ Du kan enten gi inn de aktuelle verdiene for armeringsgenerering, eller legge inn den armering du ønsker manuelt.
- ▶ Det er vanligvis mest hensiktsmessig å la programmet generere et forslag til armering først, for deretter å modifisere dette.

Strekkarmering: Legg til eller editer strekkarmering.

- ▶ Strekkarmering angis i hver retning for seg (X- og Y-retning).
- ▶ Man kan angi flere armeringslag.

Skjærarmering: Legg til eller editer skjærarmering.

- ▶ Skjærarmering angis ved å sette antall jern i hver rad og antall rader.

- ▶ Sett n_r til 0 dersom du ikke ønsker å regne med skjærarmering.
- ▶ Sett materialdata for skjærarmeringen.
 - Merk at dette materialet benyttes også for strekkarmeringen.

5. Bestem primært kontrollsnitt

- ▶ I dette programmet legges armering i henhold til et valgt kontrollsnitt. Dette kontrollsnittet er det primære kontrollsnittet.
- ▶ Alle andre kontrollsnitt er sekundære.
- ▶ Angi de kontrollsnittene du vil at skal være inkludert i beregninger.

6. Legg til krefter

- ▶ Definer de laster som skal inngå.
- ▶ Merk at kreftene angis i tyngdepunktet til belastet flate.
- ▶ Jevnt fordelt last, p , kan også angis. Denne skal kun benyttes ved spesielle tilfeller og fører til at dimensjonerende krefter innenfor kontrollsnittet modifiseres/redueres, og det vil kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$.

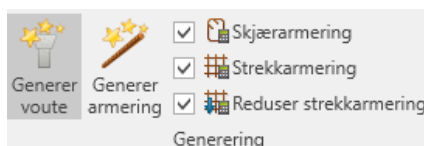
Kapasitetskontroll

Velg «Start beregningen» for å beregne resultater. Ved generering av armering eller voute vil også en beregning kjøres.



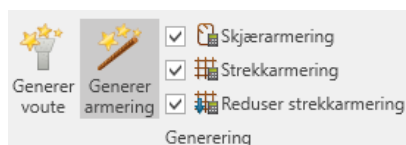
Voutegenerering

Velg «Generer voute». Programmet vil da finne den optimale vouten slik alle utnyttelser er godkjent uten skjærarmering. Det er anbefalt å generere en eventuell voute før man begynner å legge inn/generere skjærarmering. Merk at dette er kun tilgjengelig i Enterprise-versjonen av modulen.



Armeringsgenerering

Dette er mulig så snart modellens geometri er beskrevet. Velg «Generer armering». Du velger selv hvilke armering som skal genereres med beregningsinnstillingene ved siden av knappen (se figur under).



Resultater

1. Sammendragsresultater finner du i rot-menypunktet «Resultater».
2. Resultater for kapasitetskontrollen finner du i menypunktet «Kapasitetskontroll».

- ▶ Resultater vises i en tre-liste.
- ▶ Under er detaljvisning for valgt rad i tre-listevisningen.

Lasttilfelle / kontrollsnitt	Godkjent?	Utn ₀	Utn _{1,c}	Utn _{1,cs}	r _{out} [mm]	s _r [mm]	f _{t,req,u1} [mm]	f _{t,req,out-kd} [r]
▲ Last	Godkjent	0,22	0,27	0,18	-	111	-	-
▣ Utenfor vouten (ext)	Godkjent	0,22	0,27	0,18	-	111	-	-
▲ Inne i vouten (int)	Godkjent	0,09	0,19	-	-	-	-	-
▣ Intern	Godkjent	0,02	-	-	-	-	-	-
▣ Kant venstre	Godkjent	0,03	-	-	-	-	-	-
▣ Kant topp	Godkjent	0,03	-	-	-	-	-	-
▣ Hjørne topp venstre (...)	Godkjent	0,09	0,19	-	-	-	-	-
▶ Last 2	Godkjent	0,33	0,41	0,27	-	111	-	-

Sammendrag			
Opprinnelige krefter	Trykkbrudd	Strekbrudd	Ytre kontrollsnitt
N _{Ed} 20 kN	Utn ₀ 0,22	Utn _{1,c} 0,27 Utn _{1,cs} 0,18	u _{out} - mm
M _{Ed,x} 0 kNm	v _{Ed,0} 0,68 MPa	v _{Ed,1} 0,17 MPa v _{Rd,cs} 0,92 MPa	f _{out} - mm
M _{Ed,y} 0 kNm	v _{Rd,max} 3,06 MPa	v _{Rd,c} 0,62 MPa	f _{out-kd} - mm
P 0,00 kN/m ²	β 2,27	β 2,27	β -

3. Resultater for minimumsarmering finner du i menypunktet «Minimumsarmering».

Forutsetninger og antagelser

I dette programmet er det flere forutsetninger, antagelser og valg som benyttes. Det er svært viktig at bruker har satt seg inn i disse ved bruk av denne modulen. Følgende er en liste av de viktigste punktene. Underkapitlene og teorigrunnlaget har mer informasjon.

- ▶ Programmet beregner største skjærspenning med de faktiske dimensjonerende kreftene som virker i det aktuelle kontrollsnittet. Du kan velge å benytte β -faktor fra det kritiske kontrollsnittet (u_1) ved kontroll av u_0 og u_{out} under beregningsinnstillingene.
- ▶ Programmet regner og kontrollerer alle relevante kontrollsnitt (bruker kan velge å inkludere de kontrollsnitt som ikke er kortest), og skjærarmring legges i henhold til ett av dem, det primære.
- ▶ Skjærarmring legges jevnt fordelt i rader med samme form som primært kritisk kontrollsnitt.
- ▶ Ved beregning av sekundære kontrollsnitt benyttes tangentiell senteravstand fra det primære kontrollsnittet i samme avstand fra belastet flate.
- ▶ Armeringen vil i mange tilfeller kunne vises i friluft, utenfor betongen eller inni utsparinger. Dette er ikke en indikasjon på at noe er galt!
- ▶ Den jevnt fordelte lasten, p , er alltid motsatt rettet av normalkraften. Den skal kun benyttes ved spesielle tilfeller. Dersom det angis en fordelt last reduseres/modifiseres kreftene i det aktuelle kontrollsnittet, og det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$ (u_d).
- ▶ Kontroll av trykk- og strekkbrudd gjøres i kontrollsnittets tyngdepunkt. Bruker angir krefter i senter av belastet flate, så programmet transformerer disse til å gjelde i tyngdepunktet til kontrollsnittet.
- ▶ Programmet støtter ikke beregning av ytre kontrollsnitt dersom denne treffer en kant som ikke allerede er inkludert i kontrollsnittets form.
- ▶ Programmet beregner β med en biaksial versjon av formel (6.39). Under beregningsinnstillinger kan bruker velge å inkludere beregning etter formlene (6.44) og (6.46), samt om man vil benytte enaksial formel (6.39). Bruker kan også velge en egendefinert verdi av β som vil da benyttes i alle beregninger.

Beregning av β

Programmet beregner største skjærspenning med de faktiske dimensjonerende kreftene som virker i det aktuelle kontrollsnittet. Det vil si at dimensjonerende skjærkraft og moment som virker i kontrollsnittets tyngdepunkt benyttes til å finne β -faktor. Dette fører til at kontroll av trykkbrudd utføres med kreftene i belastet flate (ingen eksentrisitetsmomenter) og plastisk motstandsmoment beregnes for u_0 (W_0). Dette kan også føre til at avstand til ytre kontrollsnitt blir lengre enn forventet fordi spenningen kan øke når vi går utover på grunn av eksentrisitetsmoment.

Standarden indikerer at β -faktor trengs kun å beregnes for det kritiske kontrollsnittet (u_1), og kan benyttes ved kontroll av u_0 og u_{out} . Programmet har støtte for denne beregningen også, men standardvalget er at β beregnes med opptredende krefter i det aktuelle kontrollsnittet (på samme måte som kontrollsnitt innenfor $2d$, EC2-1-1: 6.4.4(2)).

Det er svært viktig at du som bruker vurderer selv hvilken metode som skal benyttes ved beregning av β -faktor. Valget kan gjøres under beregningsinnstillinger (gjelder det aktuelle dokumentet), eller du kan endre standardvalget til programmet under programinnstillinger.

Alternativ beregning

Som standard bruker programmet alltid kun en biaksial versjon av formel (6.39) i EC2-1-1 (se Forsterkningsfaktoren β for mer informasjon). Som bruker kan du overstyre dette, både ved å gi inn en egen verdi på beta, ved å inkludere formlene (6.44) og (6.46) i kontrollen, og ved å bruke en enaksial versjon av formel (6.39). Disse valgene finner du under «Beregningsinnstillinger».

Dersom bruker manuelt overstyrer β vil denne verdien benyttes uansett kontrollsnitt og lasttilfelle som beregnes. Ellers vil programmet beregne β automatisk. Dersom bruker velger å inkludere formlene (6.44) og (6.46) vil beregning av β etter formel (6.39) gjøres uansett, og den mest kritiske verdien av β benyttes videre i beregningene.

Dimensjonerende krefter

Ved beregning av største skjærspenning i det aktuelle kontrollsnittet benyttes opptredende dimensjonerende krefter i tyngdepunktet til kontrollsnittet. Bruker angir krefter i tyngdepunktet til belastet flate, og programmet transformerer disse til kontrollsnittet. I tillegg reduseres/modifiseres de angitte kreftene i belastet flate med andre laster innenfor kontrollsnittet. Det vil si at dimensjonerende skjærkraft reduseres dersom det er definert et mottrykk ($p > 0$), og dimensjonerende moment modifiseres med eksentrisiteten til mottrykket. Merk at du kan velge å ikke modifisere momentet med tanke på eksentrisiteten til mottrykket i beregningsinnstillingene.

Jevnt fordelt last (mottrykk)

Ved spesielle tilfeller (som for eksempel søylefundament) kan det angis en jevnt fordelt last (p) på dekket som motvirker den konsentrerte lasten. Dersom det er angitt et mottrykk fører det til følgende:

- ▶ Dimensjonerende skjærkraft reduseres med resultatanten av den jevnt fordelte lasten innenfor det aktuelle kontrollsnittet.
- ▶ Dimensjonerende moment modifiseres med eksentrisiteten til resultatanten av den jevnt fordelte lasten innenfor det aktuelle kontrollsnittet. Merk at dette gjøres kun dersom det er valgt av bruker.
- ▶ Det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$ (u_a) i henhold til EC2-1-1: 6.4.4(2). Merk at denne kontrollen kun utføres uten skjærarming, og kan føre til behov for skjærarming selv om kritisk kontrollsnitt (u_1) er godkjent.

Primære og sekundære kritiske kontrollsnitt

NS-EN 1992-1-1 er dessverre ikke fullstendig når det kommer til hvordan gjennomlokking skal kontrolleres for belastninger som er nær en eller flere av dekkets kanter. Punkt 6.4.2(4) sier tydelig at det er korteste kritiske kontrollsnittet som skal avgjøre om beregningene skal gjøres for en innersøyle, kantsøyle eller hjørnesøyle. Ved rene normalkrefter er dette en god antagelse, men kombinert med eksentrisiteter (momenter) blir denne antagelsen ikke alltid god nok. I tilfeller hvor lengdene på to ulike kritiske kontrollsnitt er forholdsvis lik, er det fint mulig å finne at det lengre kontrollsnittet er mer kritisk enn det korteste. For å løse dette problemet regner programmet derfor på alle relevante kontrollsnitt. I mange tilfeller vil det da være innlysende at programmet regner på noe som er unødvendig å regne på, men disse kontrollsnittene kan bruker velge å ekskludere. Det er ikke anbefalt å ekskludere et kontrollsnitt fra beregninger dersom det er det korteste (eller svært nær det korteste), da standarden krever at dette kontrollsnittet skal kontrolleres.

Fordi programmet legger skjærarming i rader med samme form som kritisk kontrollsnitt, er det nødvendig å vite hvilket av de mulige kontrollsnittene man ønsker å legge armeringen i henhold til. Det valgte kontrollsnittet, eller rettere sagt; den valgte formen på kontrollsnittet, er det som i dette

dokumentet refereres til som *det primære kontrollsnittet*. Alle andre former på kontrollsnitt refereres dermed til som *sekundære kontrollsnitt*. Ved voute er det primære kontrollsnitt valgt for det som gjelder utenfor vouten.

Skjærarmering

I programmet angir bruker skjærarmering ved å sette verdier for antall rader og antall jern per rad. Radene vil følge formen på det valgte primære kontrollsnittet. Ved beregning av sekundære kontrollsnitt vil tangentiell senteravstand fra den raden med formen til det primære kontrollsnittet i samme avstand benyttes.

Merk at skjærarmeringen programmet viser er veiledende. Det er opp til bruker å benytte de data i sin konstruksjon. Selv om programmet viser (og validerer) like mange jern i hver rad, er det ikke nødvendigvis behov for å legge dette i en virkelig konstruksjon!

Ved voute gjelder de data bruker angir for skjærarmering i dekket utenfor vouten. Dersom det er valgt at det er skjærarmering innenfor vouten også, benyttes de samme verdier som gjelder utenfor. Merk at programmet kontrollerer ikke krav til skjærarmering innenfor vouten (men kapasitetskontrollen blir gjennomført fullt ut for lave vouter). Grafikken gjenspeiler hvordan programmet regner med skjærarmering innenfor vouten.

Utsparinger

Dersom utsparingen er i en avstand større enn $6d$ skal ikke den redusere kritisk kontrollsnitt. I noen tilfeller kan dette skje til og med dersom utsparingen ligger på kontrollsnittet. Dersom en kant er et stykke unna belastet flate slik at utsparinger kan legges ved kant og fortsatt være $6d$ fra belastet flate, vil ikke disse redusere kontrollsnittet selv om de ligger over selve linjen til kontrollsnittet. Dette kan føre til svært sære modeller, men det er opp til bruker å unngå denne situasjonen.

Trykkbruddkontroll

EC2-1-1 angir ikke hvordan man skal regne hvis den frie kanten ligger et stykke utenfor den belastede flaten. Programmet benytter en gitt grenseverdi for å avgjøre om kanten skal være inkludert i beregning av $u_{0,red}$ eller ikke. I noen tilfeller kan dette gi spesielle konsekvenser. Dersom man legger til en voute slik at kanter nå blir inkludert i beregning av $u_{0,red}$, kan kapasiteten gå drastisk ned.

Dette kravet fører også at den verdi av β som benyttes i strekkbruddkontrollen, som også benyttes i trykkbruddkontroll, f.eks. kan komme fra en hjørnesøyleberegning, mens $u_{0,red}$ kan være regnet som en kant- eller innersøyle fordi kantene er et stykke fra belastet flate.

Høy voute

Programmet benytter to typer vouter; ved lav voute kontrolleres kontrollsnitt innenfor og utenfor vouten, og ved høy voute kontrolleres et sirkulært kontrollsnitt utenfor vouten. Dersom det er definert en høy voute kan dette sirkulære kritiske kontrollsnittet gå gjennom både voute og opprinnelig belastet flate dersom belastet flate er avlang. Da skjærarmering legges i henhold til kontrollsnitt vil dette i mange tilfeller gi uønsket armeringsplassering. Det er opp til bruker å vurdere de resultater programmet gir. Grafikken i vindu for armering er veiledende for hvordan programmet regner.

Generering av voute

Programmet tilbyr en generering av voute som finner den best mulige vouten for å ta opp kreftene. Den optimale vouten er definert som den vouten med minst volum som gir godkjente resultater. Programmet antar også at optimal voute gir ingen behov for skjærarmoring. Derfor fjernes eksisterende skjærarmoring dersom en gyldig voute er generert. Legg også merke til at alle kontrollsnitt automatisk blir inkludert i beregningen, og at det korteste kontrollsnittet settes som det primære. Dette skjer fordi forutsetningene for valg av primært kontrollsnitt og hvilke sekundære kontrollsnitt som skal være inkludert høyst sannsynlig blir fullstendig endret.

Generering av voute nær et hjørne kan ofte føre til at programmet ikke klarer å finne en gyldig voute. Dersom kreftene krever en stor voute kan det oppstå en situasjon hvor økt voute ikke gir reduserte utnyttelser. Dette kan skje dersom f.eks. trykkbruddkontrollen utenfor vouten ikke er godkjent når $u_{0,red}$ har nådd kravet til å være $3d$. Da kan økt voutestørrelse faktisk gi større utnyttelser.

Teorigrunnlag

Generelt

Formlene for beregningene av gjennomløkking er i henhold til følgende standarder med norsk nasjonalt tillegg. Se Brukermanual ISY Design Generelt for mer informasjon om inkluderte versjoner av standardene og tilhørende nasjonale tillegg.

- ▶ Eurokode 2, EN 1992-1-1 (EC2-1-1), hovedsakelig kapittel 6.4 og 9.4

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 Betongtverrsnitt 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 «Start beregning».

Materialdata

Både materialdata for betong og armering håndteres på samme måte som i Betongtverrsnitt.

Effektiv tykkelse (EC2-1-1: 6.4.2(1))

Den effektive tykkelsen til platen finnes ved å ta gjennomsnittet av de effektive tykkelsene for armeringen (d_x og d_y) i de to ortogonale retningene.

Videre i programmet benyttes derfor

$$d = d_{eff} = \frac{(d_x + d_y)}{2}$$

Her beregnes d_x og d_y på samme måte som i Betongtverrsnitt. Dersom det ikke eksisterer lengdearmering i modellen benyttes

$$d = d_{eff} = 0,8t$$

der t er tykkelsen på dekket.

Verdien $0,8t$ er kun nødvendig for å kunne beregne en estimert verdi på d i de inndata som er avhengige av denne. Verdien blir i praksis aldri brukt i beregningene, da vi krever innlagt lengdearmering i begge retninger.

Armering

Armeringen som legges inn og vises i denne modulen er kun den armeringen som er relevant med tanke på gjennomlokkingsproblematikken. Eventuell skjærarmering i dekket generelt, armering av søylen, eller lignende, er hverken med i beregninger, inndata eller visualisering. Lengdearmeringen som legges inn er den normale lengdearmeringen i dekket, da denne også påvirker gjennomlokkingsberegningen, mens skjærarmeringen i denne modulen er ment å være en ekstra skjærarmering i forbindelse med gjennomlokking. All armering forutsettes fullt forankret, selv om dette ikke vises på noen måte i programmet.

Siden denne modulen ikke ser på den generelle kapasiteten til dekket, men beregner gjennomlokkingen, er det ikke relevant med de generelle minimumskravene til skjærarmering i et dekke. Lengdearmeringen til dekket er derimot relevant når vi ser på gjennomlokking, så disse minimumskravene er relevante også i denne modulen, men kun det som går på strekkarmering.

I denne modulen angir bruker kun materiale for skjærarmeringen. Dette materialet er antatt å gjelde for lengdearmeringen også (beregning og kontroll av minimumskrav).

Overdekning

Kravene til overdekning av armeringen beregnes som i Betongtverrsnitt.

Lengdearmering

Siden trykkarmeringen ikke er relevant for gjennomlokkingsberegningene, er det heller ikke inkludert i programmet. Strekkarmeringen er derimot med, og her kontrolleres også kravene til generell lengdearmering i dekket.

Krav til lengdearmering i dekket (EC2-1-1: 9.3 og 9.4)

Følgende krav til armering i dekket hentes direkte fra Betongtverrsnitt: (EC2-1-1: 9.3)

- ▶ Minste dekketykkelse ved skjærarmering (9.3.2(1) antas gjelder også ved gjennomlokking.)
- ▶ Minste areal for strekkarmering
- ▶ Største areal for strekkarmering
- ▶ Krav til senteravstand mellom jern

Det er også noen føringer for hvor lengdearmeringen skal plasseres sideveis (se EC2-1-1: 9.4.1). Dette er ikke kontrollert i programmet da det ville krevd ekstra informasjon om plassering av jernene, noe som uansett ikke påvirker gjennomlokkingsberegningene.

Dersom det er definert en voute, og $l_H \geq 2h_H$, kontrolleres krav til lengdearmering også innenfor vouten. Merk at innenfor vouten benyttes d_H .

Generering av lengdearmering

Følgende gjelder for generering av lengdearmering:

- ▶ Programmet genererer kun strekkarmering, da trykkarmering ikke er med i gjennomlokkingsberegningene.
- ▶ Programmet bruker data (diameter, materiale, overdekning, osv.) fra hvert armeringslag i x- og y-retning som utgangspunkt.
 - Dersom det ikke finnes noen armeringslag, blir det først lagt inn ett enkelt armeringslag med standard-verdier, der senteravstanden settes til 1000 mm, i hver retning. (Senteravstand justeres senere til å ligge innenfor krav til største senteravstand.)
- ▶ Dersom det allerede finnes skjærarmering i modellen, benyttes denne for å redusere behovet for strekkarmering.
 - Dersom skjærarmeringen er så svak at kontrollen uten skjærarmering gir større kapasitet, blir skjærarmeringen ignorert i genereringen av strekkarmering.
 - Dersom det også er valgt å generere skjærarmering i samme operasjon, ignoreres skjærarmeringens bidrag når lengdearmering genereres.
- ▶ Genereringen av strekkarmering tar ikke hensyn til krav til maksimalt armeringsareal
 - Hvis bruker tillater reduksjon av armeringsmengden vil dette kun bli et problem når minimumskravene innenfor vouten overstiger maksimumskravene utenfor.
 - Ellers, hvis genereringen ikke kan redusere eksisterende armering, vil dette normalt være et problem dersom kravet i utgangspunktet er overskredet.
- ▶ Senteravstandene til strekkarmeringen optimaliseres for å minimere materialbruken og samtidig unngå behov for ytterligere skjærarmering.
 - Hvis det finnes flere armeringslag i en og samme retning, blir forholdstallet mellom senteravstandene for disse lagene beholdt.
- ▶ Dersom det ikke er mulig å legge inn nok strekkarmering, legges det inn maksimal mengde lengdearmering før programmet eventuelt går videre med generering av skjærarmering.
 - Programmet øker lengdearmeringen fram til det laget med minst senteravstand når begrensningen som settes i form av krav til minste senteravstand, eller at total armeringsprosent, ρ_l , har nådd sin maksverdi på 0,02.
- ▶ Før nødvendig armeringsmengde genereres, sørges det for at minimumskravene er oppfylt.

Skjærarmering for gjennomlokking

Skjærarmeringen som inngår i denne modulen, er tenkt utelukkende benyttet til å ta opp kreftene i forbindelse med gjennomlokkingsproblematikken. Skjærarmeringen skal plasseres ut til avstanden kd innenfor omkretsen av kontrollsnittet der skjærarmeringen ikke lenger er nødvendig.

Krav til skjærarmeringen

Dersom det er behov for skjærarmering, gjelder formel (9.11)

$$A_{sw,min} \frac{1,5\sin\alpha + \cos\alpha}{s_r s_t} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Vi skriver dette om, og finner et minstekrav til areal per bøylebein

$$A_{sw,min} = 0,08 \frac{s_r s_t \sqrt{f_{ck}}}{(1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) f_{yk}}$$

Dette kravet kontrolleres opp mot arealet til ett enkelt bøylebein.

$$A_{sw} = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 \geq A_{sw,min}$$

I valideringen av minstekravet til areal per bøylebein benyttes den største s_t der det er behov for skjærarmering, altså i kontrollsnittet $r_{out} - kd$ (r_{out} er avstanden fra belastet flate til ytre kontrollsnitt, u_{out}). Vi kaller denne senteravstanden $s_{t,out-kd}$. Dette gjør at kontrollen av dette kravet må gjøres per kontrollsnitt, da ulike kontrollsnitt kan ha forskjellig r_{out} .

α	Vinkelen mellom skjærarmeringen og hovedarmeringen.
s_r	Senteravstand mellom bøylebeina i radiell retning.
s_t	Senteravstand mellom bøylebeina i tangentiell retning. Beregnes som antall jern delt på snittets omkrets.

Maksimal tillatt avstand mellom bøylebein (EC2-1-1: 9.4.3(1)) tangentielt langs kontrollsnittet (uavhengig enten det er bøyer, oppbøyde jern, e.l.)

$$\begin{aligned} s_{t,max,u1} &= 1,5d && \text{langs (og innenfor) kritisk kontrollsnitt, } u_1 \\ s_{t,max} &= 2,0d && \text{utenfor kritisk kontrollsnitt} \end{aligned}$$

Dette gir følgende krav for tangentiell senteravstand i ytterste snitt der det er behov for skjærarmering.

$$s_{t,max,out-kd} = \begin{cases} s_{t,max,u1} & \text{for } r_{out-kd} \leq r_{u1} \\ s_{t,max} & \text{ellers} \end{cases}$$

Maksimal tillatt avstand mellom bøyleben (eller oppbøyde jern) radielt (på tvers av kontrollsnittet)

$$s_{r,max} = 0,75d$$

Merk at dersom bruker angir én rad med oppbøyde jern, vil ikke dette kravet valideres, men programmet gir en advarsel.

Følgende valideringer utføres for å kontrollere at største avstander ikke overskrides. (Programmet utfører beregningene uansett, men kontrollerer at kravene er oppfylt, og gir eventuelt valideringsfeil.)

- ▶ $s_r \leq s_{r,max}$ kontrolleres kun dersom $n_r \geq 2$. (Ellers vises kravet, men uten validering.)
- ▶ $s_{t,u1} = \frac{u_{1,full}}{n_t} \leq s_{t,max,u1}$
 - $u_{1,full}$ er omkretsen til u_1 uten fradrag fra eventuelle utsparinger.

- Denne kontrollen er i praksis den samme for alle kontrollsnitt, da $\frac{u_{1,full}}{n_t}$ skal hentes fra det primære kontrollsnittet uansett.
- ▶ Dersom $r_{out} > r_{u1} + kd$ kontrolleres også $s_t = \frac{u_{i,full}}{n_t} \leq s_{t,max}$ for alle u_i som ligger utenfor u_1 .
 - I praksis kontrolleres kun den u_i som ligger i avstanden $r_{out} - kd$ ut fra u_0 , i.e.
$$s_{t,out-kd} = \frac{u_{out-kd,full}}{n_t} \leq s_{t,max}$$
 - OBS: Husk at n_t må regnes ut for alle sekundære kontrollsnitt, da kravet er at de skal ha samme s_t som det primære kontrollsnittet i samme avstand fra belastet flate.
 - Ettersom programmet ikke avkorter u_{out} selv om s_t blir større enn $2d$, er det viktig at denne valideringen gir tydelig informasjon om konsekvensene av at dette kravet er overskredet.
- ▶ Avstand ut til ytterste rad kontrolleres at er større eller lik $r_{out} - kd$.
- ▶ Antall rader n_r
 - Ved $n_r > 1$ er kontrollen godkjent.
 - Ved $n_r = 1$ er kontrollen fortsatt godkjent, men det gis en info som opplyser om at vi antar at det benyttes oppbøyde jern.
 - Ved $n_r = 0$ har vi ikke skjærarmering i modellen. Trenger da ingen validering.
- ▶ Avstand til første skjærarmeringsrad kontrolleres i henhold til EC2-1-1: 9.4.3(4) ($r_0 \leq 0,5d$).

Legg merke til at valideringer som benytter avstanden til ytre kontrollsnitt, r_{out} , ikke skal valideres dersom r_{out} ikke eksisterer på grunn av at u_{out} treffer en kant. r_{out} får da valideringsfeil i dette tilfellet. Vanligvis får u_{out} en form som er beregnet sammen med en annen form av u_1 . Dette gir god veiledning til å vurdere de totale resultatene.

Dersom det benyttes oppbøyd jern som skjærarmering antas denne lengdearmeringen å gå igjennom den belastede flaten. Derfor kontrolleres ikke EC2-1-1: 9.4.3(3) i dette programmet.

Krav til fri avstand mellom skjærarmeringsjernene kontrolleres (valideres) med rutine i Betongtverrsnitt, mot minste avstand mellom jernene i første rad.

Generering av skjærarmering

Ved generering av skjærarmering er materiale, diameter, vinkel på bøylene, avstand til første rad, r_0 , og radiell avstand mellom jern, s_r , er gitt som inndata til genereringen (vinkel kan endres under genereringen).

Merk at dersom det er en voute, genereres skjærarmeringen kun med tanke på hva som er nødvendig i dekket utenfor vouten. Det er forventet at vouten er designet på en sãnn måte at det er et mindre behov for armering inne i vouten enn utenfor.

Skjærarmering generes slik at strekkbruddkontroll er godkjent for alle inkluderte kontrollsnitt (trykkbruddkontroll påvirkes ikke av skjærarmeringen). Dersom største opptredende skjærspenning er mindre enn skjærspenningskapasitet uten skjærarmering avbrytes genereringen med ingen skjærarmering ($n_r = 0$). Dersom skjærspenningen er høyere enn maksimal skjærspenningskapasitet med skjærarmering ($k_{max}v_{Rd,c}$) genererer programmet maksimum beregningsmessig skjærarmering.

Krefter

Krefter som inngår i gjennomlokkingsproblematikken er normalkraft, N_{Ed} , og moment, $M_{Ed,x}$ og $M_{Ed,y}$, som virker på dekket fra belastet flate. Det antas at normalkraften angriper dekket i tyngdepunktet til den belastede flaten og alltid er i trykk.

I tillegg virker en jevnt fordelt last, p , på platen som alltid er motsatt rettet i forhold til normalkraften, og på den måten gir en gunstig effekt i gjennomlokkingsberegningen. Hverken N_{Ed} eller p kan ha negative verdier, da vi alltid opererer med absoluttverdi på dem og vet at de er motsatt rettet. Alle krefter som oppgis skal være i bruddgrensetilstanden, og alle lasttilfeller blir dimensjonert hver for seg.

Den fordelte lasten, p , skal kun angis ved spesielle tilfeller. Lasten innenfor det aktuelle kontrollsnittet benyttes til å redusere/modifisere de dimensjonerende kreftene. I tillegg vil det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$ (u_a).

Også momentene angriper i tyngdepunktet til belastet flate. I gjennomlokkingsberegningene regnes motstandsmomentet W_i om aksene M_{Ed} virker om, og som går gjennom kontrollsnittets tyngdepunkt. Det er derfor behov for transformering av momentet, dersom kontrollsnittets og belastet flates tyngdepunkt ikke er det samme.

Merk at det ved store eksentrisiteter (forholdet mellom moment og normalkraft) er høyst usikkert om beregningen av gjennomlokking slik den står i EC2-1-1 er gyldig. Det er opp til bruker å avgjøre gyldigheten av standardens beregninger i hvert enkelt tilfelle.

Dimensjonerende skjærkraft i kontrollsnittet

I EC2-1-1: 6.4 er det $V_{Ed,i}$ som benyttes i beregningene av gjennomlokking. Dette er den dimensjonerende skjærkraften i det aktuelle kontrollsnittet. Det er derfor antatt at summen av alle normalkrefter innenfor kontrollsnittet fordeles jevnt som en skjærspenning i kontrollverrsnittet. Det vil si at skjærkraften regnes som normalkraften i belastet flate minus kraften fra den fordelte lasten, p , som ligger innenfor kontrollsnittet, i.e.

$$V_{Ed,i} = N_{Ed} - \Delta V_{Ed,i} = N_{Ed} - pA_i$$

Der A_i er arealet innenfor det aktuelle kontrollsnittet, fratrukket arealet av den belastede flaten. Den delen av p som eventuelt virker i dekket på motsatt side av den belastede flaten antas inkludert i N_{Ed} . Det er verd å merke seg at arealet A_i beregnes som arealet innenfor det fulle kontrollsnittet, altså kontrollsnittetstien uten fradrag på grunn av utsparinger, men arealet av den belastede flaten (areal innenfor u_0) og eventuelle areal av utsparinger som ligger innenfor kontrollsnittet skal trekkes ifra.

Dersom den fordelte lasten er så stor at dimensjonerende skjærkraft skifter retning (negativ) har vi ikke gjennomlokkingsproblem som kan løses i henhold til standarden. Programmet vil derfor ikke kontrollere kapasiteten i dette tilfelle.

Merk at for vouter er A_i arealet innenfor kontrollsnittet, fratrukket arealet av den opprinnelige belastede flaten. Det vil si at beregning av $V_{Ed,i}$ er lik med eller uten voute.

Dimensjonerende moment i kontrollsnittet

Momentet i et gitt kontrollsnitt påvirker hvor mye skjærspenningen varierer over kontrollsnittet, og inngår i beregningene som en del av forsterkningsfaktoren β , som beskrevet nærmere i kapittel Forsterkningsfaktoren β . I forhold til kreftene angitt av bruker, må disse transformeres slik at man finner momentet om det aktuelle kontrollsnittets tyngdepunkt. I tillegg kan det også komme et momentbidrag fra den fordelte lasten p , dersom dette er valgt inkludert.

Dimensjonerende moment i kontrollsnitt u_i beregnes etter følgende formler:

$$M_{Ed,y,i} = M_{Ed,y} - e_{N,x,i}N_{Ed,i} + e_{\Delta V,x,i}\Delta V_{Ed,i}$$

$$M_{Ed,x,i} = M_{Ed,x} + e_{N,y,i}N_{Ed,i} - e_{\Delta V,y,i}\Delta V_{Ed,i}$$

$M_{Ed,y,i}$	Momentet om y-aksen i kontrollsnitt u_i sitt tyngdepunkt.
$M_{Ed,y}$	Momentet om y-aksen i belastet flates tyngdepunkt. Angitt av bruker.
$e_{N,x,i}$	Avstand (i x-retning) fra belastet flates tyngdepunkt til kontrollsnittets tyngdepunkt.
$e_{\Delta V,x,i}$	Avstand (i x-retning) fra punktet $\Delta V_{Ed,i}$ virker i (tyngdepunktet til arealet A_i) til kontrollsnittets tyngdepunkt.
A_i	Som definert i kapittel Dimensjonerende skjærkraft i kontrollsnittet.
$\Delta V_{Ed,i}$	Som definert i kapittel Dimensjonerende skjærkraft i kontrollsnittet.

Beskrivelsene er de samme for verdiene i/om motsatt akse.

Gjennomlokking (EC2-1-1: 6.4)

Dimensjonering for gjennomlokking etter EC2-1-1 tar utgangspunkt i plastisk teori. Dette betyr at skjærspenningen i kontrollsnittet teoretisk kan beregnes etter den mest gunstige spenningsfordelingen som gir balanse mellom ytre og indre krefter. I tillegg forutsetter ren plastisk teori at betongens skjærkapasitet blir 0 når den overskrides, noe som er åpenbart urimelig når kontrollsnittet er mer eller mindre innelukket. EC2-1-1 regner da med 75% av betongens skjærkapasitet etter at skjærarming er tatt i bruk.

Kontroll av skjærkraft ved konsentrerte laster

Dimensjonering for påvisning av skjærkraftkapasitet ved konsentrerte laster utføres ved

- ▶ Kant av belastet flate (trykkbrudd)
 - Utnyttelsen regnes som (EC2-1-1: 6.4.5(3))

$$Utn_0 = \frac{v_{Ed,0}}{v_{Rd,max}}$$

- ▶ Kritisk kontrollsnitt (strekbrudd)
 - Utnyttelse *uten* skjærarming regnes som (EC2-1-1: 6.4.4(1))

$$Utn_{1,c} = \frac{v_{Ed,1}}{v_{Rd,c}}$$

- Utnyttelse *med* skjærarmering, dersom det finnes skjærarmering, regnes som (EC2-1-1: 6.4.5(1))

$$Utn_{1,cs} = \frac{v_{Ed,1}}{v_{Rd,cs}}$$

- ▶ Kontrollsnitt innenfor $2d$ dersom $p > 0$
 - Utnyttelse for kontrollsnitt i avstand a *uten* skjærarmering regnes som (EC2-1-1: 6.4.4(2))

$$Utn_a = \frac{v_{Ed,a}}{v_{Rd}}$$

- ▶ Hvis det er behov for skjærarmering, påvises et kontrollsnitt med omkrets u_{out} der det ikke lenger er behov for skjærarmering.
 - Hovedresultatet her er armeringsbehov og avstand til u_{out} .
 - Utnyttelsen uten skjærarmering er per definisjon godkjent, så den blir ikke beregnet.
 - Det er behov for skjærarmering dersom $Utn_{1,c}$ eller Utn_a er større enn 1,0.

Kontrollsnitt (EC2-1-1: 6.4.2)

Et kontrollsnitt med omkrets u_i konstrueres i en gitt avstand fra belastet flate slik at stien går rundt belastet flate og velges slik at omkretsen minimeres (konveks). Programmet kontrollerer alle relevante kontrollsnitt. Dersom det er definert kanter vil det være flere teoretisk mulige kontrollsnittsformer (inner-, kant- og hjørnesøyler). I tillegg kontrolleres kontrollsnittet i forskjellige avstander fra belastet flate.

Vi har følgende mulige kontrollsnitt for hver kontrollsnittform:

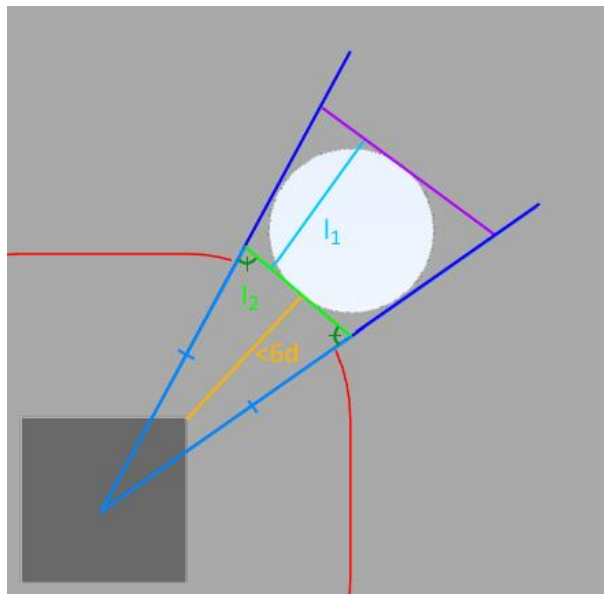
- ▶ Kontrollsnitt ved trykkbrudd, u_0
 - Ligger helt inntil belastet flate.
- ▶ Kontrollsnitt ved motstående last innenfor kontrollsnittet, u_a
 - Kun relevant dersom $p > 0$.
 - Programmet kontrollerer kontrollsnittet i et brukerdefinert antall plasseringer fra belastet flate opp til og med $2d$.
- ▶ Kritisk kontrollsnitt, u_1
 - Kun relevant dersom den aktuelle kontrollsnittsformen fører til at kontrollsnittet eksisterer (ikke treffer flere kanter enn det kontrollsnittsformen forutsetter).
 - Avstand fra belastet flate er $2d$.
- ▶ Ytre kontrollsnitt, u_{out}
 - Kun relevant dersom det er behov for skjærarmering.
 - Avstand fra belastet flate er større eller lik $2d$.

Utsparinger

Hvis den korteste avstanden fra u_0 til kanten til utsparingen er mindre eller lik $6d$ (se figur 6.14 i EC2-1-1) vil utsparingen føre til at en del av u_1 blir ineffektiv. Legg merke til at dette gjelder alle

kontrollsnitt. Utsparinger som omfavner mer enn 180 grader rundt belastet flate regnes som ugyldige, og programmet gir da feilmelding.

Dersom utsparingen fører til ineffektiv del av kontrollsnittet, skal det konstrueres to rette linjer fra senteret av belastet flate til ytterkantene av utsparingen. Den delen av kontrollsnittet som er imellom de to linjene skal bli ineffektiv (trekkes fra). Vinkelen mellom de to linjene kan bli forstørret hvis $l_1 > l_2$, slik at l_2 blir lik $\sqrt{l_1 l_2}$. Se figur under for definisjoner og metode.



Ved utsparinger som er slanke og strekker seg langt i retning bort fra belastet flate vil l_1 bli veldig stor i forhold til l_2 som gjør at vinkelen mellom tangentene kan bli veldig stor. For å begrense dette utfallet benytter programmet en begrensning på lengden l_1 ; lengden kan ikke være større enn $6d$ minus avstanden mellom belastet flate og utsparing (oransje linje). Det vil si at bare den delen av utsparingen som ligger innenfor $6d$ kan føre til at vinkelen mellom tangentene blir større.

Legg merke til at utsparinger i en avstand større enn $6d$ fra belastet flate ikke er med i beregningene, og påvirker ikke ytre kontrollsnitt. Videre gir programmet en advarsel dersom utsparinger ligger fullstendig eller delvis innenfor u_0 . Det er da antatt at utsparingen ikke påvirker u_0 , men kritisk kontrollsnitt u_1 vil være påvirket.

Kanter og primære/sekundære kontrollsnitt

Ved kanter i modellgeometrien konstrueres det kritiske kontrollsnittet slik at det går rundt belastet flate med rette linjer ut til kanten som vist i figur 6.15 i EC2-1-1. Snittet skal som før velges slik at omkretsen u_1 blir minimert.

Dersom avstanden fra kant av dekke til kant av belastet flate er i samme størrelsesorden som størrelsen på sidelengdene av den belastede flaten (slik at omkretsen til kritisk kontrollsnitt som går rundt hele belastet flate er ca. like lang som omkretsen til snittet som går ut til kanten), risikerer vi å ha en situasjon der det er ulike kontrollsnitt som er mest kritiske for de forskjellige lasttilfellene. For å håndtere dette vil programmet regne på *alle* relevante kritiske kontrollsnitt. Dette kan i mange tilfeller virke unødvendig (et kritisk kontrollsnitt som er mye lengre enn et annet vil i normalt tilfellet

aldri være avgjørende for kontrollen), men programmet gjør dette fordi det gir en viss trygghet, og det er ikke noe problem for beregningstiden.

Programmet finner alle kritiske kontrollsnitt basert på de definerte kantene. Vi har ett kontrollsnitt som går rundt belastet flate. Videre har vi kontrollsnitt som går i rette linjer ut til en kant (kantsøyle), og kontrollsnitt som går i rette linjer ut til to kanter som er vinkelrett på hverandre (hjørnesøyle). Dette gir maksimalt 9 mulige kritiske kontrollsnittformer dersom alle de 4 mulige kantene er definert.

Merk at kontrollsnitt som går i en rett linje mellom to parallelle kanter ikke er relevante da dette er rent skjærbrudd, noe som formlene i EC2-1-1 6.4 ikke er ment for.

Kontrollsnitt ved trykkbrudd, u_0 (EC2-1-1 6.4.5(3))

Trykkbrudd skal kontrolleres for et kontrollsnitt i ytterkant av belastet flate, der lengden u_0 er den belastede flatens omkrets. Omkretsen skal reduseres ved kant eller hjørne og utsparinger. Merk at dette kun gjelder i kontrollen av trykkbrudd. Alle andre steder i dette dokumentet, der det refereres til u_0 («innenfor u_0 », «i avstand x fra u_0 », e.l.), er det snakk om den reduserte u_0 , uten hensyn til kanter og utsparinger. For å gjøre dette klarere benytter vi $u_{0,red}$ for den verdien som benyttes i trykkbruddkontrollen (den brukes ikke andre plasser).

Omkretsen u_0 settes først lik omkretsen til en strikk rundt tverrsnittet, i.e. omkretsen skal være konveks og så kort som mulig. Dette gjøres på samme måte som for kontrollsnitt, men her skal det ikke legges en avstand mellom tverrsnittet og kontrollsnittet.

Beregning av $u_{0,red}$ gjøres i henhold til EC2-1-1: 6.4.5(3). Standarden angir ikke hvordan man skal regne hvis den frie kanten ligger et stykke utenfor den belastede flaten. Vi velger å sammenligne en gitt grenseverdi med den frie avstanden fra kanten av den belastede flaten og ut til kanten av dekket, b_f . Dersom b_f er større enn kravet, tar vi ikke hensyn til denne kanten i beregningen av u_0 . Følgende krav kontrolleres for hver kant.

$$b_f \geq \max\{2d; c_2\}$$

Hvor c_2 er lengden på den belastede flaten målt parallelt med kanten man sammenligner med (se EC2-1-1 figur 6.20 (a)).

Kravet bygger på tankegangen med stavmodeller for å ta opp kreftene i en betongkonstruksjon. Her får den skrå trykkstaven tradisjonelt en helning på 45 grader. Hvis kanten ligger så langt unna at hele trykkstaven kan utvikles, kan den aktuelle siden også ta opp trykkspenningene i betongen. Som en konservativ «sikkerhetsfaktor» benytter programmet vinkelen til kritisk kontrollsnitt (26,6 grader), og derfor $2d$ i kravet for når en kant er relevant.

Hvis avstanden, b_f , er mindre enn sidelengden parallelt med kanten, vil vi få en variasjon i trykkspenningen som er vanskelig å beregne i detalj. Kanten inngår i så fall uansett i reduksjonen av u_0 , noe som er på sikre siden.

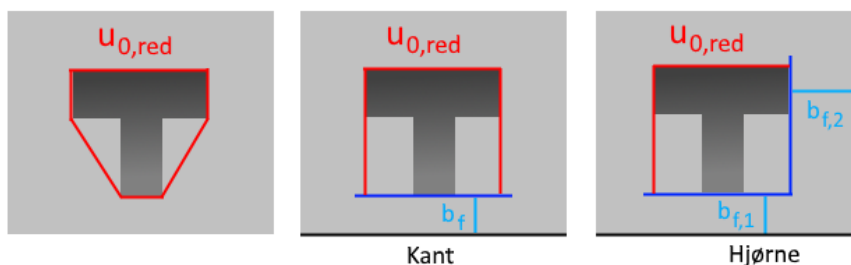
Eksisterer det ingen relevante kanter regnes $u_{0,red}$ som omkretsen til u_0 , altså den skal ikke reduseres. Ellers gjøres følgende:

- ▶ Vi finner innrammingsboksen til belastet flate.
 - Sidelengden c_2 er i retning parallelt med kanten (for kantsøyle).
- ▶ Størst mulig omkrets, $u_{0,red,max}$, bestemmes.
 - Flytter alle relevante kanter (skal bare være mulig med 1 eller 2) til kant belastet flate.
 - Endrer stien til u_0 slik at den går i rette linjer ut i kanten(e). På samme måte som før skal stien være konveks og velges slik at den minimeres.
 - Reduserer stien ved eventuelle utsparinger i henhold til 0.
 - Lengden til denne stien er da $u_{0,red,max}$.
- ▶ Beregne redusert omkrets, $u_{0,red}$
 - Kantsøyle

$$u_{0,red} = c_2 + 3d \leq u_{0,red,max}$$

- Hjørnesøyle

$$u_{0,red} = 3d \leq u_{0,red,max}$$



Dersom modellen har utsparinger, vil disse påvirke $u_{0,red,max}$ på samme måte som de ellers påvirker u_1 , mens de numeriske formlene for beregningen av $u_{0,red}$ beholdes uendret. Dette er en forenkling som ikke nødvendigvis er på konservativ side, men EN 1992-1-1 gir ingen veiledning til hvordan en slik problemstilling skal kunne løses.

Merk at det beregnes en egen forsterkningsfaktor, β , for trykkbruddkontroll dersom det er valgt av bruker. Da $u_{0,red}$ er kun definert som et tall, og ikke en sti, kan ikke det kontrollsnittet benyttes i beregning av motstandsmomentet, W_0 . Programmet vil da benytte stien for $u_{0,red,max}$, og skalere forholdet mellom lengdene på kontrollsnittene. Se beregning av største skjærspenning for mer informasjon.

Kritisk kontrollsnitt, u_1

Gjennomlokking skal kontrolleres for det kritiske kontrollsnittet, u_1 . For vouter har vi potensielt 2 kritiske kontrollsnitt, ett i selve vouten, $u_{1,int}$, og ett i dekket utenfor vouten, $u_{1,ext}$.

I EC2-1-1 står det at omkretsen u_1 ligger i en avstand $r_{u_1} = 2d$ fra belastet flate, og velges slik at lengden minimeres (se figur 6.13). Omkretsen skal med andre ord være konveks.

For å finne omkretsen u_1 legges det en «strikk» rundt belastet flate som gjør at vi får en konveks sti, altså stien til u_0 . (I utgangspunktet starter og slutter stien i samme punkt, men dette kan endres senere i beregningene.) På denne måten kan generelle former på belastede flater (som T-tverrsnitt) benyttes. Videre skaleres stien opp slik at den får en avstand r_{u1} fra den opprinnelige stien med avrundede hjørner (den korteste avstanden fra u_0 til hvert punkt på stien er r_{u1}). Vi har da omkretsen u_1 .

Legg merke til at denne stien går rundt hele belastet flate. Dette er riktig for innersøyler, men ved kanter og utsparinger kan omkretsen u_1 få ineffektive deler. Hvordan dette gjøres og hvilke regler som gjelder står i kapitlene under. Når den effektive omkretsen er funnet, kan lengden og andre kontrollsnittrelaterede verdier bestemmes fra punktene i stien.

Redusert omkrets (EC2-1-1: 6.4.3(4))

Redusert omkrets, u_{1*} , finnes som vist på figur 6.20 i EC2-1-1. Denne figuren viser ikke hvordan u_{1*} er tenkt beregnet dersom belastet flate ikke ligger helt inntil kanten av dekket. Dersom man skal gjøre en direkte tolkning av figuren, vil u_{1*} aldri gå forbi midten av belastet flate i de retningene hvor den skal reduseres på grunn av en kant, uansett hvor langt det er mellom belastet flate og kanten. Dette er åpenbart urimelig, og vil kunne føre til svært store verdier på β som ikke er reelle.

Siden u_{1*} aldri benyttes alene, er det forholdet u_1/u_{1*} som er interessant. Ved en realistisk betraktning av hvordan verdien på β bør utvikle seg dersom den belastede flaten flyttes innover i dekket, er det tydelig at forholdet u_1/u_{1*} aldri bør kunne bli større enn det som gjelder når belastet flate ligger helt ute i kanten/hjørnet av dekket. Dette benyttes derfor når beregningen av β utføres med formel (6.44) eller (6.46) fra EC2-1-1, ved at første ledd av beregningen av β trekkes ut som en egen verdi, $\beta_{u_{1*}}$.

Dersom formel (6.39) fra EC2-1-1 benyttes, settes $\beta_{u_{1*}} = 1,0$. Dette gjelder for innersøyler, men også for kantsøyler og hjørnesøyler dersom kriteriene for bruken av formel (6.44) og (6.46) ikke er tilfredsstillt, eller bruker aktivt har valg å ikke benytte dem. Ellers beregnes forholdet som

$$\beta_{u_{1*}} = \frac{u_{1,mod}}{u_{1*}}$$

Her er u_{1*} beregnet i henhold til Figur 6.20 i EC2-1-1, mens $u_{1,mod}$ er en modifisert verdi av u_1 , tilsvarende den verdien man ville fått dersom den belastede flaten ble flyttet helt ut i kanten/hjørnet av dekket. Dette gjør at verdien av $\beta_{u_{1*}}$ ikke øker dersom den belastede flaten flyttes innover i dekket, slik den ellers ville gjort.

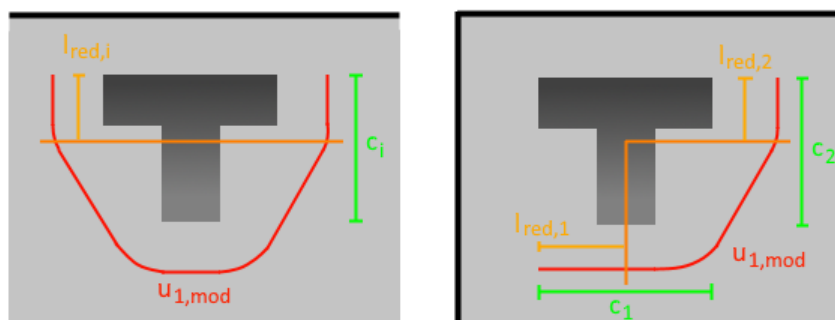
Legg merke til at forholdet beregnes kun for det kritiske kontrollsnittet og brukes i beregning av største skjærspenning i alle kontrollsnitt u_i – selv om det er valgt å beregne β i det aktuelle kontrollsnittet.

På samme måte som det vanlige kontrollsnittet, u_1 , beregnes formen på $u_{1,mod}$ og u_{1*} som en sti, der områder som ikke skal være med, f.eks. på grunn av utsparinger, blir klippet bort. $u_{1,mod}$ blir beregnet ved å "klippe bort" eventuelle deler fra u_1 som går utenfor belastet flate og ut til en kant. Stien til u_{1*} finnes så, med $u_{1,mod}$ som utgangspunkt, på følgende måte:

- ▶ For hver kant i :
 - Dersom det er en hjørnesøyle sjekkes det at eksentrisiteten i samme retning som kanten er rettet innover.
 - Dersom den ikke er rettet innover skal ikke kanten flyttes (kontrollsnittet skal ikke reduseres i denne retningen).
 - Beregner reduksjonen langs sidekantene av belastet flate (c_i er sidelengden av belastet flate normalt på kanten).

$$l_{red,i} = c_i - \min\{1,5d; 0,5c_i\}$$

- Den aktuelle kanten "flyttes" avstanden $l_{red,i}$ fra kanten av belastet og inn i dekket.
- ▶ Til slutt beregnes u_1^* ved å klippe bort alt av $u_{1,mod}$ som ligger utenfor de nye kantene.



Kontrollsnitt u_a

Skjærkraftkapasiteten for bøl påvises ved kontrollsnitt innenfor $2d$ fra belastet flates omkrets i henhold til EC2-1-1, punkt 6.4.4(2). Vi har at avstanden fra belastet flates kant til omkretsen av det aktuelle kontrollsnittet er a . Programmet finner automatisk den mest kritiske avstanden a ved å regne alle avstander fra 0 til $2d$, med et brukerdefinert intervall mellom beregningsverdiene. Merk at bruker kan velge å benytte egendefinert avstand a . Da er det kun denne ene avstanden som blir beregnet.

Da dette kontrollsnittet kun benyttes under punkt 6.4.4 i EC2-1-1 (skjærkraftkapasitet uten skjærarmoring), er det antatt at kontrollsnittet u_a ikke skal kontrolleres med skjærarmoring. Denne kontrollen blir å anse som en utvidelse av den vanlige kontrollen av u_1 når det skal avgjøres om det er behov for skjærarmoring, men er ellers en egen separat kontroll i tillegg til kontroll av kritisk kontrollsnitt.

Kritisk u_a finnes ved å beregne en serie med utnyttelser for ulike a , der a kontrolleres med intervaller på Δa mellom 0 og $2d$, der begge grenseverdiene inkluderes. Avstanden mellom hvert kontrollsnitt, Δa , er gitt med følgende formel.

$$\Delta a = k_a d$$

Der k_a er en brukerdefinert faktor mellom 0,01 og 1.

Ytterste kontrollsnitt, u_{out} (EC2-1-1: 6.4.5(4))

Programmet forutsetter at $s_t \leq 2d$ i alle snitt innenfor kontrollsnittet som ligger i $r_{out-kd} = r_{out} - kd$. Dersom dette ikke er oppfylt skal egentlig u_{out} beregnes med ineffektive deler ($u_{out,ef}$), men siden programmet ikke gjør dette gis det i stedet en valideringsfeil på s_t i dette tilfellet, som forklarer hvordan programmet regner. I praksis er dette kun vanlig i tilfelle B i figur 6.22 i EC2-1-1, som viser en måte å plassere skjærarmeringen på som ikke er støttet i denne versjonen av programmet.

Beregning av ytre kontrollsnitt utføres kun dersom det er behov for skjærarmering. Det er behov for skjærarmering dersom skjærkraftkapasitet uten skjærarmering er underkjent for kritisk kontrollsnitt eller kontrollsnitt innenfor $2d$ (EC2-1-1: 6.4.4(1) og (2)).

Dersom kontrollsnitt innenfor $2d$ er underkjent, og kritisk kontrollsnitt er godkjent, settes ytre kontrollsnitt lik kritisk kontrollsnitt.

$$u_{out} = u_1$$

Vi kan også få den situasjonen at kritisk kontrollsnitt ikke eksisterer og kontrollsnitt innenfor $2d$ er underkjent. I dette tilfelle kan ikke ytre kontrollsnitt beregnes, og konstruksjonen vil være underkjent selv om det er lagt inn skjærarmering.

Omkrets

Lengden av omkretsen til kontrollsnittet der det ikke er behov for skjærarmering er definert som u_{out} (se figur 6.22 i EC2-1-1). Kontrollsnittet ligger i en avstand $r_{out} \geq 2d$ fra belastet flate, der største opptredende skjærspenning er lik kapasiteten til betongen alene, i.e.

$$v_{Ed,out} = \beta_{u1} \frac{V_{Ed,out}}{u_{out}d} + \Delta v_{M,Ed,out} = v_{Rd,c}$$

Dette gir følgende uttrykk for det ytre kontrollsnittet.

$$u_{out} = \beta_{u1} \frac{V_{Ed,out}}{(v_{Rd,c} - \Delta v_{M,Ed,out})d}$$

Dersom β fra kritisk kontrollsnitt skal brukes, beregnes ytre kontrollsnitt med følgende uttrykk.

$$u_{out} = \frac{\beta_1 V_{Ed,out}}{v_{Rd,c}d}$$

Dersom bruker manuelt har angitt β benyttes formel (6.54) i EC2-1-1, i.e.

$$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed,out}}{v_{Rd,c}d}$$

Legg merke til at u_{out} avhengig av avstanden til kontrollsnittet, r_{out} . Det kreves altså en iterasjon for å finne det ytre kontrollsnittet (se kapittel Avstand ut til ytre kontrollsnitt).

Det kreves at det plasseres skjærarmering i en avstand kd innenfor det ytre kontrollsnittet.

$$k = 1,5$$

Norsk tillegg: $k = 1,0$

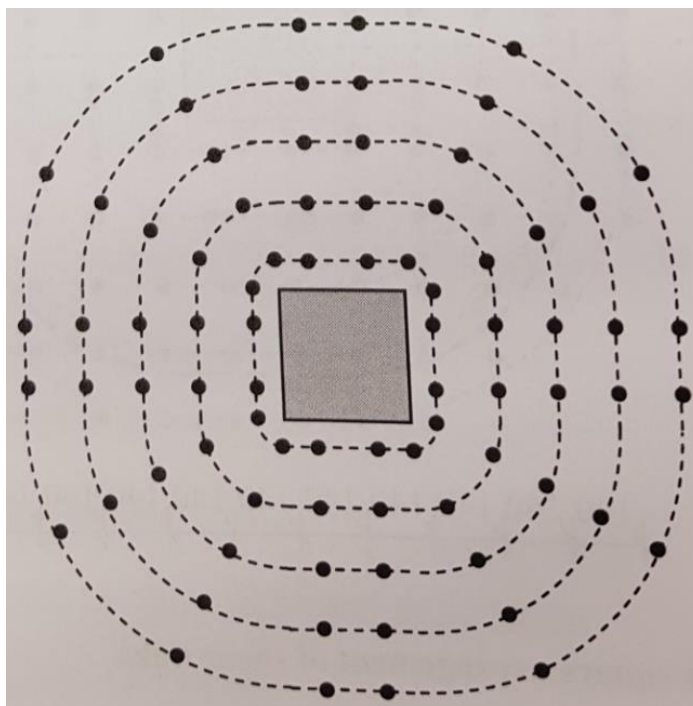
Programmet regner derfor ut avstanden fra belastet flate (u_0) til hvor det er krav til skjærarmering, og kontrollsnittet i denne avstanden, u_{out-kd} .

$$r_{out-kd} = r_{out} - kd$$

Utsparinger som ikke påvirker u_1 påvirker heller ikke u_{out} . Dette gjelder også selv om u_{out} ender opp med å gå igjennom selve utsparingen.

Form av kontrollsnitt

Formen på ytre kontrollsnitt er ikke klart definert i EC2-1-1. I punkt 6.4.2(7) står det at alle kontrollsnitt skal ha samme form som kritisk kontrollsnitt. Likevel viser figur 6.22 at dette ikke er tilfelle for ytre kontrollsnitt, selv om dette også omtales som et kontrollsnitt. I dette programmet er det forutsatt at armeringen legges i rader med samme form som kritisk kontrollsnitt. Dette fører til at det er rimelig å anta at vi får samme form på kritisk kontrollsnitt og ytre kontrollsnitt.



Skisse av plassering av armering, som fører til samme form på de ulike kontrollsnittene.

Det er verd å merke seg i figuren over at armeringen i dette programmet ikke nødvendigvis legges nøyaktig slik, men spres utover hele lengden til hvert lag. Det vil dermed ikke bli den samme symmetrien i grafikken som vises på figuren. Dersom man i praksis legger armeringen på en annen måte, må man passe på at alle krav til plasseringen av skjærarmeringen fortsatt er oppfylt. Dersom man f.eks. får en $s_t > 2d$ mellom noen som helst jern i ytterste rad, vil forutsetningene for beregningene i programmet ikke være gyldige, og resultatene må vurderes manuelt.

Avstand ut til ytre kontrollsnitt

På grunn av utsparinger, kanter, redusering av skjærkraft, og beregning av β for hvert kontrollsnitt, vil beregning av ytre kontrollsnitt, og avstanden til det, r_{out} , ikke være en lineær sammenheng. Programmer utfører derfor en iterasjon for å finne kontrollsnittet.

Hvis iterasjonen ikke finner noen r_{out} , noe som kan skje dersom u_{out} treffer en kant, blir ikke noen resultater relatert til u_{out} beregnet. Det gis i stedet valideringsfeil på alle resultater som skal valideres og som relaterer seg til u_{out} . Resultater som ikke er avhengige av u_{out} blir likevel beregnet som normalt.

Vouter

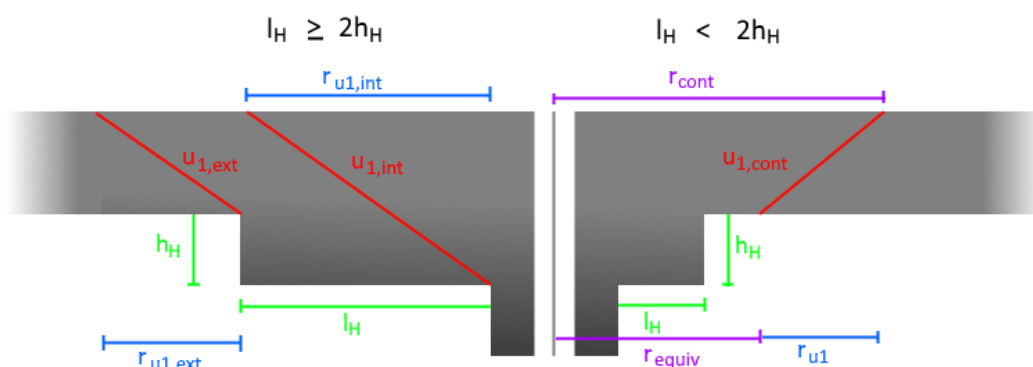
Teksten i EC2-1-1 er ikke komplett når det gjelder vouter og dens form i gjennomlokkingsberegning. For å være på den sikre siden har vi valgt å gjøre noen forenklinger. Programmet har som inndata både bredde l_H og høyde h_H på vouten ved kanten av den belastede flaten. Det forutsettes at høyden på vouten er konstant langs kanten av den belastede flaten. Vi antar også at vouten får formen til en oppskalert versjon av den u_0 som ligger rundt den belastede flaten. Dette blir *nesten* som for kontrollsnitt, men bruker kan velge om det skal være avrundede hjørner eller ikke. I beregningene innenfor vouten antas vouten å ha samme form som kontrollsnittene, for å kunne regne med en konstant l_H .

For å ta hensyn til vouter er det som står i EC2-1-1 om vouter videreutviklet. Programmet benytter følgende. Merk at punktene er skrevet for det kritiske kontrollsnittet, men i praksis gjelder dette for alle kontrollsnitt.

- ▶ Vouten regnes som en egen belastet flate som får eget kritisk kontrollsnitt dersom $l_H \geq 2h_H$.
 - Kontrollsnittet finnes på samme måte som for alle andre dekker.
- ▶ Dersom $l_H < 2h_H$ påvises vouten med ett kritisk kontrollsnitt $u_{1,cont}$. Det konstrueres da en fiktiv sirkulær belastet flate som kommer fra et sirkulært kontrollsnitt med radius, r_{cont} .
- ▶ Formen til vouten er den samme som den oppblåste opprinnelige belastede flaten (med eller uten avrundede hjørner).
- ▶ Vouten kuttes ved kanter.
- ▶ Dersom det er behov for skjærarmering innenfor vouten antas det at hele vouten skal ha skjærarmering. Altså, vi beregner ikke ytre kontrollsnitt.
- ▶ Kontroll av kontrollsnittet innenfor $2d$ utføres også innenfor vouten, men da med d_H .
- ▶ Minimumskrav for lengdearmering kontrolleres både innenfor og utenfor vouten.
- ▶ Dersom voute er inkludert vil det utføres trykkbruddkontroll med både $u_{0,int}$ og $u_{0,ext}$, uansett forhold mellom l_H og h_H .
 - Dersom $l_H < 2h_H$ vises den mest kritiske trykkbruddkontrollen.

Vi har tre mulige kritiske kontrollsnitt når voute er tilstede:

- ▶ $u_{1,ext}$
 - Påvises kun når $l_H \geq 2h_H$.
 - Belastet flate regnes som voutens fulle utbredelse (inkludert den opprinnelige belastede flaten).
 - Effektiv tykkelse regnes som dekkets effektive tykkelse, d .
 - Avstanden fra voutens kant til kontrollsnittet $r_{1,ext} = r_{u1}$.
 - Utsparinger blir tatt hensyn til hvis de er innenfor $6d$ fra kant voute.
 - På samme måte som ellers, vil eventuelle utsparinger innenfor vouten ikke påvirke $u_{0,ext}$, men $u_{1,ext}$ kan påvirkes.
 - Primært kritisk kontrollsnitt er definert/valgt for $u_{1,ext}$.
 - Det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$ (men utenfor vouten).
- ▶ $u_{1,int}$
 - Påvises kun når $l_H \geq 2h_H$.
 - Belastet flate er den opprinnelige belastede flaten, uten voute.
 - Effektiv tykkelse er den effektive tykkelsen ved kant av belastet flate, d_H . (I praksis blir denne summen av dekkets effektive tykkelse og voutehøyden.)
 - Dette kan tilsynelatende gå litt imot hva EC2-1-1, punkt 6.4.2 (10), sier, men det fremgår tydelig iblant annet 6.4.3(2) at det er urimelig å bruke ulik verdi på d for beregning av kapasiteter og spenninger.
 - Avstanden fra opprinnelig belastet flates kant til kontrollsnittet $r_{1,int} = 2d_H$.
 - Primært kritisk kontrollsnitt innenfor vouten settes alltid til det korteste kritiske kontrollsnittet. (Primært kontrollsnitt er egentlig kun definert utenfor vouten, men beregningene har behov for et tilsvarende kontrollsnitt innenfor vouten også.)
 - Utsparinger blir tatt hensyn til hvis de er innenfor $6d_H$ fra belastet flate.
 - Det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d_H$, men nå benyttes d_H i formlene.
- ▶ $u_{1,cont}$
 - Påvises kun når $l_H < 2h_H$.
 - Belastet flate er en fiktiv sirkel som bestemmes i henhold til kapittel Fiktiv sirkulær belastet flate. Sirkelen settes i tyngdepunktet til opprinnelig belastet flate.
 - Effektiv tykkelse regnes som dekkets effektive tykkelse, d .
 - Avstanden fra det fiktive sirkulære belastede flaten til kontrollsnittet $r_{1,cont} = r_{u1}$.
 - Utsparinger blir tatt hensyn til hvis de er innenfor $6d$ fra den fiktive belastede flaten.
 - På samme måte som ellers, vil eventuelle utsparinger innenfor den fiktive sirkulære belastede flaten ikke påvirke $u_{0,cont}$, men $u_{1,cont}$ kan påvirkes.
 - Primært kritisk kontrollsnitt er definert/valgt for $u_{1,cont}$ der belastet flate er en fiktiv sirkel.
 - Kontroll av trykkbrudd utføres med både $u_{0,int}$ og $u_{0,ext}$, og kritisk resultat lagres.
 - Det kontrolleres kontrollsnitt innenfor $2d$ (men utenfor den fiktive belastede flaten).



Følgende regler gjelder ved beregning av de kritiske kontrollsnittene

- ▶ Påvisning av hvert av de kritiske kontrollsnittene $u_{1,ext}$, $u_{1,int}$ og $u_{1,cont}$ gjøres etter samme regler som kritisk kontrollsnitt u_1 . (I praksis blir det nesten som separate dokumenter.)
 - Det må, på samme måte som kritisk kontrollsnitt u_1 , bli tatt hensyn til kanter og utsparinger for alle kontrollsnittene.
- ▶ Det vanlige kritiske kontrollsnittet u_1 defineres ikke, men er erstattet.

d_H	Effektive tykkelsen til platen ved sidekanten av den belastede flaten (figur 6.18 i EC2-1-1).
l_H	Avstanden fra kant av belastet flate til kanten av vouten.
h_H	Tykkelse av voute ved belastet flate, $d_H - d$.

Fiktiv sirkulær belastet flate

Når $l_H < 2h_H$ er det kun nødvendig med et kritisk kontrollsnitt utenfor vouten. EC2-1-1 sier at man skal regne med et tilnærmet sirkulært kritisk kontrollsnitt, $u_{1,cont}$, med radius r_{cont} fra senter av opprinnelig belastet flate – selv om den ikke er sirkulær.

Vi har følgende formler i EC2-1-1 ((6.33), (6.34) og (6.35)):

$$r_{cont} = \begin{cases} 2d + l_H + 0,5c & \text{for sirkulær BF} \\ \min \begin{cases} 2d + 0,56\sqrt{l_1 l_2} \\ 2d + 0,69l_1 \end{cases} & \text{for rektangulær BF} \end{cases}$$

Gitt at kontrollsnittet $u_{1,cont}$ er sirkulært kan det tenkes at det kommer av en fiktiv sirkulær belastet flate med radius $r_{equiv} = r_{cont} - 2d$.

For sirkulær opprinnelig belastet flate er den fiktive belastede flaten den samme, men med voute, i.e.

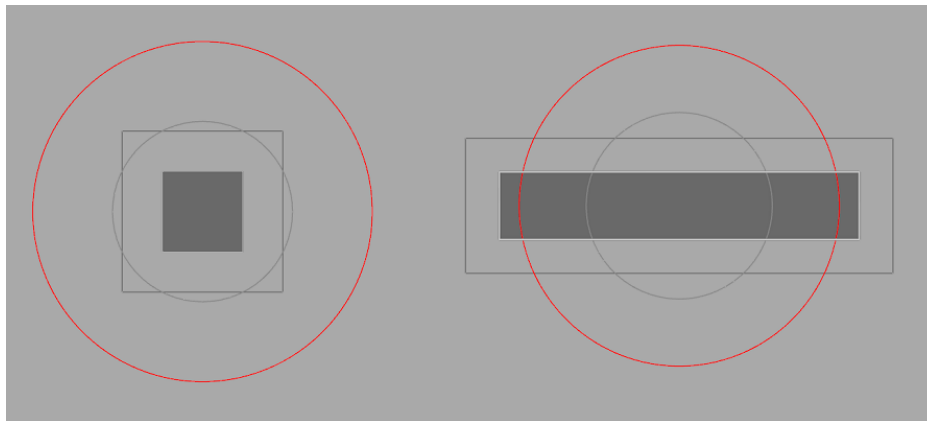
$$r_{equiv} = l_H + 0,5c$$

der c er diameteren til den opprinnelige belastede flaten. I dette tilfellet trenger vi ikke å finne en ny fiktiv belastet flate.

For rektangulære og andre geometrier må man konstruere en fiktiv sirkulær belastet flate. Vi har at den fiktive sirkulære belastede flaten har samme areal som opprinnelig belastet flate med voute, men med en maksverdi. Radiusen settes altså til

$$r_{equiv} = \min \begin{cases} 0,56\sqrt{l_1 l_2} \\ 0,69l_1 \end{cases}$$

Det gjenstår bare å finne sidelengdene. For rektangulære belastede flater finnes sidelengdene direkte, men for andre geometrier finner programmet lengdene til et ekvivalent rektangel.



Figuren illustrer det kritiske kontrollsnittet $u_{1,cont}$ for en rektangulær voute når $l_H > 2h_H$. Til venstre er radiusen til den fiktive sirkulære belastede flaten lik $r_{equiv} = 0,56\sqrt{l_1 l_2}$. Geometrien i den høyre delen er såpass avlang ($l_2 > 1,5l_1$) at maksimumskravet slår til, slik at radiusen blir $r_{equiv} = 0,69l_1$.

Generering av voute

Det kan være nyttig for en bruker å generere en voute som gjør at kapasiteten til modellen holder med den strekkarmering som er innlagt. Dersom det ikke finnes lengdearmering i modellen, gis det en feilmelding om dette, og genereringen av vouten avbrytes. Programmet tar ikke hensyn til skjærarmering ved generering av voute, og dersom programmet finner en gyldig voute vil eksisterende skjærarmering nullstilles. Programmet genererer vouten på basis av alle relevante kontrollsnitt, selv om de evt. er ekskludert fra beregningene av bruker. Merk at generering av voute uansett vil tilbake stille valg av primært kontrollsnitt, slik at korteste kontrollsnitt er valgt etter at genereringen er ferdig.

Hvis strekk- og trykkbruddkontrollen holder (uten skjærarmering) for alle lasttilfeller for alle kontrollsnitt er det ikke nødvendig med voute, og genereringen stopper (eksisterende voute fjernes). Hvis ikke, genererer programmet en optimal voute. Resultatet kan være en voute der $l_H < 2h_H$ eller en voute der $l_H \geq 2h_H$. Programmet definerer «optimal voute» som den vouten med minst volum som gir godkjente resultater.

Legg merke til at i noen situasjoner klarer ikke programmet å finne en gyldig voute. Dette kan skje dersom utnyttelser ikke blir redusert ved økt størrelse på vouten, noe genereringen antar.

Beregne største skjærspenning (EC2-1-1: 6.4.3)

Største skjærspenning i kontrollsnitt i beregnes som

$$v_{Ed,i} = \beta_i \frac{V_{Ed,i}}{u_i d}$$

der d er middelverdien for platens effektive tykkelse (d_{eff}), u_i er lengden av det aktuelle kontrollsnittets omkrets, og β_i er en forsterkningsfaktor for det aktuelle kontrollsnittet.

Teksten i EC2-1-1 6.4.3 er ikke soleklar når det gjelder hva u_i er med tanke på ineffektive deler. Vi tolker den imidlertid som at det er den effektive omkretsen (reduisert med tanke på f.eks. utsparinger) som skal inngå i formelen.

Dersom β er angitt av bruker, benyttes formelen ovenfor. Ellers er det behov for å beregne både β_i som beskrevet i kapittel Forsterkningsfaktoren β , samt $v_{Ed,i}$ etter reglene nedenfor.

I praksis viser det seg at hvis vi setter inn for β_i i formelen for $v_{Ed,i}$, får vi ett uttrykk for beregning av største skjærspenning

$$v_{Ed,i} = \beta_{u1} \frac{V_{Ed,i}}{u_i d} + \Delta v_{M,Ed,i}$$

Der

$$\Delta v_{M,Ed,i} = \begin{cases} \sqrt{\left(k_x \frac{M_{Ed,i,x}}{W_{i,x}d}\right)^2 + \left(k_y \frac{M_{Ed,i,y}}{W_{i,y}d}\right)^2} & \text{ved beregning av biaksial formel (6.39)} \\ k \frac{M_{Ed,i}}{W_i d} & \text{ellers} \end{cases}$$

Vi har altså et uttrykk for beregning av skjærspenning som fortsatt gir svar selv om skjærkraften $V_{Ed,i} = 0$ (da blir egentlig $\beta = \infty$). Verdien på β vil allikevel bli beregnet og vist som resultat i programmet, men er ikke brukt i beregningene.

Dette uttrykket benyttes for å finne største skjærspenning i alle kontrollsnitt, men modifiseres noe i beregning av skjærspenningen i u_0 (se kapittel Trykkbruddkontroll (EC2-1-1: 6.4.5(3))).

Dersom det valgt å benytte β fra det kritiske kontrollsnittet beregnes skjærspenningen med følgende uttrykk.

$$v_{Ed,i} = \beta_1 \frac{V_{Ed,i}}{u_i d}$$

Største skjærspenning innenfor kritisk kontrollsnitt

I henhold til EC2-1-1:6.4.4(2) regnes dimensjonerende skjærspenning i kontrollsnitt innenfor $2d$ som

$$v_{Ed,i} = \begin{cases} \frac{V_{Ed,i}}{u_i d} & \text{for sentrisk belastning} \\ \frac{V_{Ed,i}}{u_i d} \left[1 + k \frac{M_{Ed,i} u_i}{V_{Ed,i} W_i} \right] & \text{for eksentrisk belastning} \end{cases}$$

Merk at $V_{Ed,i}$ er den reduserte skjærkraften med tanke på mottrykk (jordtrykk). EC2-1-1:6.4.4(2) refererer til beregning av k både slik vi ville gjort i (6.39) og (6.44), men programmet regner kun etter (6.39) som er konservativt.

På samme måte som for formel (6.39), inkluderes det en mulighet for å regne største skjærspenning med en biaksial versjon av formel (6.51). Valget gjøres under beregningsinnstillinger.

Vi ser at vi får det samme generelle uttrykket for største skjærspenning som definert tidligere, men $\beta_{u1*} = 1,0$, i.e.

$$v_{Ed,i} = \frac{V_{Ed,i}}{u_i d} + \Delta v_{M,Ed,i}$$

Forsterkningsfaktoren β

Forsterkningsfaktoren er ment for å ta hensyn til at skjærspenningen ikke er jevnt fordelt langs det aktuelle kontrolltverrsnittet. Ved momenter og eksentrisk plasserte krefter vil største skjærspenning beregnes ved å multiplisere med en forsterkningsfaktor.

Det antas at forsterkningsfaktoren skal beregnes for det aktuelle kontrollsnittet. Det vil si at u_i og W_i erstatter henholdsvis u_1 og W_1 i formlene skrevet i standarden.

Nøyaktig beregning

Forsterkningsfaktoren skal beregnes i henhold til formel (6.39), i.e.

$$\beta_i = 1 + k \frac{M_{Ed,i}}{V_{Ed,i}} \frac{u_i}{W_i}$$

Ved symmetrisk geometri i henhold til koordinatsystemet og moment om begge aksene, kan beregningen med enaksial moment, $M_{Ed,i}$, usikre resultater. Dette kommer i hovedsak av bestemmelse av k , som ifølge standarden gjelder for rektangulære belastede flater med sidekanter c_1 og c_2 . Sidekantene er bestemt slik at de måles normalt på eller parallelt med momentets akse. Det er foreslått biaksial versjon av formel (6.39), som benyttes i det tyske nasjonale tillegget, slik at man regner om hver akse for seg og slår sammen bidragene med rot-gjennomsnitt (Pytagoras), og kan skrives som følger.

$$\beta_i = 1 + \frac{u_i}{V_{Ed,i}} \sqrt{\left(k_x \frac{M_{Ed,i,x}}{W_{i,x}}\right)^2 + \left(k_y \frac{M_{Ed,i,y}}{W_{i,y}}\right)^2}$$

Ved kontroll av kontrollsnitt innenfor $2d$ (EC2-1-1: 6.4.4(2)) beregnes skjærspenningen også med formel (6.39).

Alternativ beregning

I tillegg til nøyaktig beregning etter formel (6.39) tilbyr standarden tilnærmede beregninger av forsterkningsfaktoren for kant- og hjørnesøyler. Vi har altså følgende formler for β . Kontrollen av om «eksentrisiteten er rettet innover i platen» gjøres i henhold til Eksentrisitet.

- ▶ Kantsøyle med eksentrisitet rettet innover (Formel (6.44))

$$\beta_i = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{M_{Ed,i,par}}{V_{Ed,i}} \frac{u_i}{W_i}$$

- ▶ Hjørnesøyle med eksentrisitet rettet innover (Formel (6.46))

$$\beta_i = \frac{u_1}{u_{1*}}$$

- ▶ Formlene (6.42) og (6.43) sees på som forenklete uttrykk for beregning av β , for henholdsvis sirkulære og rektangulære søyler.
- ▶ Programmet tar ikke hensyn til β -verdier fra 6.4.3 (6), da disse sees på som forenklete verdier.

Merk at det er antatt at forholdet $\frac{u_1}{u_{1*}}$ beregnes kun i det kritiske kontrollsnittet, og verdien benyttes i alle eventuelle kontrollsnitt utenfor $2d$. Dersom kritisk kontrollsnitt ikke eksisterer antas verdien lik 1,0.

Ettersom gyldigheten til formel (6.44) og (6.46) er diskutabel dersom momentene blir store, og formel (6.39) kan sees på som det generelle basistilfellet, er det kun i enkelte situasjoner at (6.44) eller (6.46) blir benyttet.

- ▶ β_i blir alltid beregnet etter formel (6.39), også selv om (6.44) eller (6.46) benyttes. Dersom (6.39) gir en større verdi, er det denne som blir benyttet.
- ▶ Biaksial versjon av formel (6.39) benyttes som standard, men bruker kan velge å benytte opprinnelig formel i beregningsinnstillingene.
- ▶ For kantsøyler blir også formel (6.44) benyttet, men kun dersom eksentrisiteten vinkelrett på platekanten er rettet innover.
 - Merk at dersom formel (6.44) blir benyttet, skal verdien på faktoren k bestemmes av forholdet $\frac{c_1}{2c_2}$ i stedet for $\frac{c_1}{c_2}$.
- ▶ For hjørnesøyler gjelder følgende
 - Dersom eksentrisiteten i *både* x- og y-retning er rettet innover i dekket, blir formel (6.46) benyttet (i tillegg til (6.39)).
 - Dersom eksentrisiteten i *enten* x- eller y-retning (altså kun én av dem) er rettet innover i dekket, beregnes β_i etter formel (6.44).
 - Faktoren k bestemmes på vanlig måte, som for innersøyler.
 - Det reduserte kontrollsnittet u_{1*} , som inngår i $\beta_{u_{1*}}$, skal i dette tilfellet kun reduseres mot den ene kanten, som forklart i kapittel Redusert omkrets (EC2-1-1: 6.4.3(4)).
- ▶ Man velger selv (i beregningsinnstillingenes) om programmet skal kontrollere kapasiteten etter formlene (6.44) og (6.46). Standardvalget er at kun formel (6.39) blir kontrollert.

Generell formel

Formlene for β_i kan generaliseres og slås sammen til et felles uttrykk.

$$\beta_i = \beta_{u1*} + \Delta v_{M,Ed,i} \frac{u_i d}{V_{Ed,i}}$$

Der

$$\Delta v_{M,Ed,i} = \begin{cases} \sqrt{\left(k_x \frac{M_{Ed,i,x}}{W_{i,x}d}\right)^2 + \left(k_y \frac{M_{Ed,i,y}}{W_{i,y}d}\right)^2} & \text{ved beregning av biaksial formel (6.39)} \\ k \frac{M_{Ed,i}}{W_i d} & \text{ellers} \end{cases}$$

Beregning av forholdet mellom redusert og uredusert lengde på kontrollsnittet, $\beta_{u1*} = \frac{u_1}{u_{1*}}$, er beskrevet i kapittel Redusert omkrets (EC2-1-1: 6.4.3(4)). Husk at dersom verken formel (6.44) eller (6.46), eller kritisk kontrollsnitt ikke eksisterer, benyttes så er $\beta_{u1*} = 1$.

Momentet M_{Ed} beregnes basert på hvilken formel som benyttes

- ▶ Ved bruk av biaksial formel (6.39) benyttes ikke $M_{Ed,i}$, men enkeltmomentene benyttes direkte.
- ▶ Ved bruk av formel (6.39) (enaksial) settes $M_{Ed,i} = \sqrt{M_{Ed,i,x}^2 + M_{Ed,i,y}^2}$
- ▶ Ved bruk av formel (6.44) settes $M_{Ed,i}$ lik momentet som virker om en akse som står vinkelrett på platekanten.
- ▶ Ved bruk av formel (6.46) settes $M_{Ed,i} = 0$.

Det plastiske motstandsmomentet, W_i , regnes i henhold til kapittel Plastisk motstandsmoment, og regnes om den aksene som $M_{Ed,i}$ (beskrevet over) virker om. $M_{Ed,i,x}$ og $M_{Ed,i,y}$ er beskrevet tydeligere i kapittel Dimensjonerende moment i kontrollsnittet. Koeffisienten, k , bestemmes i henhold til kapittel Koeffisienten k .

For det kritiske kontrollsnittet får vi

$$\beta_1 = \beta_{u1*} + \Delta v_{M,Ed,1} \frac{u_1 d}{V_{Ed,1}}$$

Koeffisienten k

Koeffisienten, k , er en faktor som finnes fra tabell 6.1 i EC2-1-1 (kopi av tabell under). Verdien er en funksjon av fordelingen av det ubalanserte momentet overført som skjærspenningsvariasjon, bøyemoment og torsjonsmoment. Tabellen gjelder for rektangulære belastede flater, men vi antar at den også gjelder for generelle tverrsnitt, da ikke annet er beskrevet i EC2-1-1. Ved mellomliggende verdier på c_1/c_2 benyttes lineær interpolasjon for å finne verdien på k . Merk definisjonene av c_1 og c_2 under. Disse beregnes fra en «boundingbox». For enakset beregning av Beta er denne rotert i momentaksens retning, ellers er kantene parallelle med x- og y-aksen.

Merk at ved beregning av β etter formel (6.44) for kantsøyler er forholdstallet c_1/c_2 erstattet av $c_1/2c_2$ ved bruk av tabell 6.1 for å bestemme koeffisienten k .

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

c_1	Belastet flates dimensjon parallelt med lastens eksentrisitet.
c_2	Belastet flates dimensjon vinkelrett på lastens eksentrisitet.

OBS: Disse definisjonene av c_1 og c_2 er benyttet generelt, også i annen teori enn Eurokoden. Det er viktig å merke seg at dette fører til at c_1 og c_2 for kantsøyler vil bli motsatt av det som vises i Figur 6.20a) i EC2-1-1. Dette gjelder også når k faktoren skal finnes ved beregning etter formel (6.44) for kantsøyler, der programmet benytter forholdet $c_1/2c_2$ med c -faktorene som er beskrevet over.

Dersom det er definert en voute gjelder følgende for beregning av k .

- ▶ Dersom $l_H \geq 2h_H$
 - I kontrollen innenfor vouten ($u_{1,int}$) er c_1 og c_2 funnet fra belastet flate som vanlig.
 - I kontrollen utenfor vouten ($u_{1,ext}$) er c_1 og c_2 funnet fra voutens u_0 .
- ▶ Ellers ($l_H < 2h_H$)
 - Dersom β regnes i henhold til formel (6.44) for kantsøyle benyttes $k = 0,45$.
 - Ellers benyttes $k = 0,6$.

Eksentrisitet

For å finne eksentrisiteten til de aktuelle kreftene, blir momentene først transformert til å ligge i tyngdepunktet til det aktuelle kontrollsnittet, u_i .

Eksentrisiteten til belastningen regnes så ut på følgende måte.

$$e_{x,i} = -\frac{M_{y,Ed,i}}{V_{Ed,i}}$$

$$e_{y,i} = \frac{M_{x,Ed,i}}{V_{Ed,i}}$$

Eksentrisiteten er innover dersom avstanden fra senter lastflate til kanten (med fortegn) har motsatt fortegn til eksentrisiteten.

Plastisk motstandsmoment

Det plastiske motstandsmomentet, W_i , skal regnes om aksens $M_{Ed,i}$ virker om og som går gjennom tyngdepunktet til det aktuelle kontrollsnittet. Legg merke til at W_i regnes for det reduserte (men effektive) kontrollsnittet, u_i . For $M_{Ed,i} = 0$ er W_i udefinert, da vi ikke har noen akse å regne motstandsmomentet om.

For innersøyle finnes aksen $M_{Ed,i}$ virker om ved å ta en rett linje mellom punktene (0,0) og $(M_{Ed,i,x}, M_{Ed,i,y})$. Flytter så origo i det roterte aksesystemet til tyngdepunktet til kontrollsnittet. Merk at momentene er forventet å allerede være transformert til kontrollsnittets tyngdepunkt. Ved beregning av β i henhold til biaksial versjon av formel (6.39) vil $W_{i,x}$ og $W_{i,y}$ regnes henholdsvis om x- og y-aksen.

Kontrollsnittets tyngdepunkt er definert ved at enhver linje som går igjennom dette punktet vil balansere «vekten» til den delen av kontrollsnittet som befinner seg på hver av sidene av linjen. Dette regnes ut på tilsvarende samme måte som en flates tyngdepunkt, der kontrollsnittet blir delt inn i mange små linjestykker, men bare uten å multiplisere med de enkelte delenes areal.

Det plastiske motstandsmomentet beregnes etter følgende uttrykk

$$W_i = \int_0^{u_i} |e| dl$$

der e er avstanden fra lengdeinkrementet dl av omkretsen u_i til aksen. For det kritiske kontrollsnittet, u_1 , gir dette

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl$$

For å beregne integralet må kontrollsnittet bli diskretisert. Omkretsen blir splittet i n antall lengder l_j med hver sin avstand e_j til den aktuelle aksen. Linjer som krysser aksen må splittes i krysningspunktet. Vi får da følgende uttrykk for beregning av motstandsmomentet

$$W_i \cong \sum_{j=0}^n |e_j| l_j$$

Trykkbruddkontroll (EC2-1-1: 6.4.5(3))

Ved kant av belastet flate skal skjærspenningene kontrolleres opp mot den maksimale skjærspenningen med tanke på trykkbrudd, $v_{Rd,max}$. Det er egentlig krav at alle kontrollsnitt skal kontrolleres mot største tillatte spenning, men det er åpenbart nok å gjøre det ved kant belastet flate der spenningen vil være høyest.

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta_0 V_{Ed,0}}{u_{0,red} d} \leq v_{Rd,max}$$

På samme måte som ved strekkbruddkontroll beregnes forsterkningsfaktoren for det aktuelle kontrollsnittet. Dersom β er angitt av bruker benyttes formelen ovenfor, ellers setter vi inn for β_0 og får følgende uttrykk for skjærspenningen.

$$v_{Ed,0} = \beta_{u1*} \frac{V_{Ed,0}}{u_{0,red}d} + \beta_{u0*} \Delta v_{M,Ed,0}$$

Der

$$\beta_{u0*} = \frac{u_{0,red,max}}{u_{0,red}} \geq 1$$

Beregning av kontrollsnittet u_0 gjøres i henhold til EC2-1-1: 6.4.5(3) (se kapittel Kontrollsnitt ved trykkbrudd, u_0 (EC2-1-1 6.4.5(3))) der kontrollsnittet reduseres for kant- eller hjørnesøyle. Da vi ikke vet hvordan kontrollsnittet ser ut benyttes $u_{0,red,max}$ i beregning av forsterkningsfaktoren β_0 kombinert med tilhørende plastisk motstandsmoment W_0 , og det reduserte kontrollsnittet $u_{0,red}$ benyttes i formel (6.53). Forholdet mellom dem (β_{u0*}) brukes så for å skalere opp momentbidraget til skjærspenningen.

$$\beta_0 = \beta_{u1*} + \Delta v_{M,Ed,0} \frac{u_{0,red,max}d}{V_{Ed,0}}$$

Dersom det er valgt å benytte β fra kritisk kontrollsnitt beregnes skjærspenning for trykkbrudd med følgende uttrykk.

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta_1 V_{Ed,0}}{u_{0,red}d}$$

Merk at dersom bruker har valgt å benytte β fra kritisk kontrollsnitt (u_1), og det kontrollsnittet eksisterer ikke for den aktuelle kontrollsnittformen, benyttes beregnet β fra det kritiske kontrollsnittet innenfor $2d$ (u_a). Hvis dette kontrollsnitt ikke eksisterer ($p = 0$) beregnes faktisk verdi på β i kontrollsnittet $u_{0,red}$, altså β_0 som beskrevet over.

Vi har at

$$v_{Rd,max} = 0,4v f_{cd}$$

Norsk tillegg: Samme som standard

der

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

Norsk tillegg: Samme som standard

Merk at dersom voute er inkludert vil trykkbruddkontrollen utføres i kant søyle og i kant voute. Innenfor vouten benyttes d_H . Dersom det er angitt en høy voute, med $l_h < 2h_H$, og strekkbruddkontrollen dermed utføres med det fiktive sirkulære kontrollsnittet $u_{1,cont}$, blir

trykkbruddkontrollen også utført i kant søyle og i kant voute, men kun den mest kritiske kontrollen vises i resultatene.

Dersom det er en høy voute og det er valgt å benytte β fra det kritiske kontrollsnittet, hentes verdien fra det kritiske kontrollsnitt rundt den fiktive sirkulære belastede flaten. (Det utføres ikke noen trykkbruddkontroll innenfor, eller i relasjon til, det fiktive sirkulære kontrollsnittet, $u_{1,cont}$.)

Strekkbruddkontroll (EC2-1-1: 6.4.4-5)

Skjærkraftkapasitet uten skjærarmoring (EC2-1-1: 6.4.4)

Skjærkraftkapasitet uten skjærarmoring kontrolleres for det kritiske kontrollsnittet (u_1) og innenfor (u_d) dersom det virker et mottrykk ($p > 0$).

Kontroll av kritisk kontrollsnitt

Programmet regner ikke med normalspenninger i dekket. Formel (6.47) inkluderer derfor ikke potensielle gunstige virkninger fra f.eks. spennarmoring. Skjærkraftkapasitet ved konsentrerte laster på en plate påvises for det kritiske kontrollsnittet. Kapasiteten beregnes med følgende uttrykk.

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$$

Norsk tillegg: Samme formel, men $f_{ck} \leq 65$ MPa

Verdiene på $C_{Rd,c}$ og v_{min} , som er styrt av det nasjonale tillegget, er i standardutgaven nøyaktig lik tilsvarende verdier fra Betongtverrsnitt. Disse er derfor beskrevet i brukermanualen for Betongtverrsnitt, og beregnes med rutinene der. Det samme gjelder faktoren k , men denne er ikke styrt av nasjonalt tillegg.

Norsk tillegg: Samme som standard, men med begrensningen $f_{ck} \leq 65$ MPa

Armeringsforholdet i lengderetningene, $\rho_{l,x}$ og $\rho_{l,y}$, skal ifølge EC2-1-1 beregnes som middelveier der det tas hensyn til en platebredde b_w lik søylebredden pluss $3d$ til hver side.

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \rho_{ly}} \leq 0,02$$

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sl,x}}{b_{w,y} d}$$

Siden vi i denne modulen har lik mengde strekkarmoring i hele modellen, holder det å se på armeringsforholdet innenfor området $b_w = 1$ [mm], og vi får følgende formel som programmeres

$$\rho_l = \frac{1}{d} \sqrt{A_{sl,x} A_{sl,y}} \leq 0,02$$

Det er viktig å merke seg at $A_{sl,x}$ og $A_{sl,y}$ skal være oppgitt som (gjennomsnittlig) effektivt armeringsareal per millimeter bredde. I denne modulen er det også antatt at all armering har full forankring.

Programmet beregner største mulige skjærkraftkapasitet uten skjærarmering i tillegg. Denne verdien benyttes ikke i noen andre beregninger eller valideringer – den er kun til informasjon til bruker. Kapasiteten bestemmes ved å benytte største tillatte mengde strekkarmering ($\rho_l = 0,02$). Vi beregner ikke arealet av lengdearmeringen.

$$v_{Rd,c,max} = C_{Rd,c} k (2f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$$

Norsk tillegg: Samme formel, men $f_{ck} \leq 65$ MPa

Kontroll av kontrollsnitt innenfor $2d$

I EC2-1-1: 6.4.4(2) er det egne regler for beregning av skjærkraftkapasitet uten skjærarmering for fundamenter. I tillegg står det i EC2-1-1: 6.4.2(2) at kontrollsnitt innenfor $2d$ skal kontrolleres dersom den konsentrerte lasten motvirkes av en last innenfor kontrollsnittet. Det er antatt at kontroll etter EC2-1-1: 6.4.4(2) også gjelder da. Det vil si at denne beregningen utføres dersom $p > 0$. Merk også at skjærkraften V_{Ed} er redusert med tanke på mottrykket.

Det utføres strekkbruddkontroll for et kontrollsnitt u_a (som ligger innenfor det kritiske kontrollsnittet, u_1), hvor det benyttes en redusert skjærkraft. Denne beregningen er en tilleggskontroll til den vanlige gjennomlokkingsberegningen.

Skjærspenningskapasiteten uten skjærarmering for kontroll av kontrollsnitt u_a er gitt av følgende uttrykk.

$$v_{Rd,a} = \frac{2d}{a} C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} \geq \frac{2d}{a} v_{min}$$

Kapasiteten er lik som for kritiske kontrollsnitt, men økes med en faktor lik forholdet $2d/a$.

$$v_{Rd,a} = \frac{2d}{a} v_{Rd,c}$$

Skjærkraftkapasitet med skjærarmering (EC2-1-1: 6.4.5)

Der det er behov for skjærarmering, beregnes skjærkraftkapasiteten etter formel (6.52) i EC2-1-1.

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw,t} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha \leq k_{max} v_{Rd,c}$$

Her skal d/s_r settes lik 0,67 dersom det foreskrives en enkelt rad av oppbøyde jern. Hvis $n_r = 1$ antar programmet at det er en enkelt rad med oppbøyde jern, og benytter da $s_r = 1,5d$. Vi kan derfor benytte følgende formel for kapasiteten.

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + \frac{1,5A_{sw,t} f_{ywd,ef} \sin \alpha}{s_r u_1} \leq k_{max} v_{Rd,c}$$

der

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd} \text{ (MPa)}$$

$$k_{max} = 1,5$$

Norsk tillegg: $k_{max} = 1,5$, men kan overstyres til $k_{max} = 1,8$ i inndata for skjærarmring.

Programmet antar at de sekundære kontrollsnittene regnes med samme senteravstand, s_t . Da får vi følgende formel for skjærarmeringsareal per sekundære kontrollsnitt. Merk at i denne formelen er u_1 lengden til det kritiske sekundære kontrollsnittet og $s_{t,u1}$ er den verdien som vises i vinduet for angivelse av skjærarmeringen, som i utgangspunktet henviser til det kritiske primære kontrollsnittet.

Dersom det er angitt en voute, og det regnes med armering innenfor vouten, benyttes $s_{t,u1,int}$ innenfor vouten og $s_{t,u1,ext}$ utenfor vouten. ($s_{t,u1,ext}$ er da den som vises i programmet, mens $s_{t,u1,int}$ er s_t for det kontrollsnittet innenfor vouten som har samme form som det primære kontrollsnittet utenfor vouten.)

$$A_{sw,t} = \frac{u_1 \pi \phi_{sw}^2}{4s_{t,u1}}$$

$A_{sw,t}$	Arealet av skjærarmeringen i en rad. (Det er antatt at det ligger skjærarmering der det er nødvendig. Kontrollen av om dette stemmer skjer ved beregning og kontroll av u_{out} .)
$f_{ywd,ef}$	Effektiv dimensjonerende fasthet av skjærarmeringen ved konsentrerte laster.

Grunnen til den øvre begrensningen på $k_{max}v_{Rd,c}$ er at hvis skjærarmeringen tar for mye skjærspenning vil det oppstå riss i betongen og betongkapasiteten reduseres.

I tillegg regner programmet ut en teoretisk øvre grense for hvor mye skjærkrefter som kan opptas, før betongtykkelsen eventuelt må økes. Denne regnes ut ved å bruke maksimal effektiv strekarmering ($\rho_l = 0,02$) kombinert med maksimal effektiv skjærarmring:

$$v_{Rd,cs,max} = k_{max}v_{Rd,c,max}$$

Merk at skjærkraftkapasitet med skjærarmring kontrolleres kun i det kritiske kontrollsnittet (u_1). Det vil si at kontrollsnittene innenfor $2d$ ikke kontrolleres med skjærarmring, og det er antatt at opptredende skjærspenning utenfor kritisk kontrollsnitt er mindre.

Nødvendig skjærarmring

I programmet har vi inndata for skjærarmring som benyttes i beregningene. Armeringen legges i henhold til det primære kritiske kontrollsnittet, og beregnet s_t fra det benyttes i kontroll av andre eventuelle sekundære kritiske kontrollsnitt. Det er allikevel nyttig for bruker å se hva som er

nødvendig armering for at kontrollen skal bli godkjent. På denne måten får bruker informasjon om armeringsbehovet, også innenfor og utenfor en eventuell voute.

Armeringsbehovet finnes for det aktuelle kritiske kontrollsnittet (ikke bare det primære). Legg merke til at materiale, diameter, vinkel på jernene, radiell senteravstand, og avstand til første armeringsrad er gitt som inndata. For kritiske kontrollsnitt innenfor en eventuell voute benyttes d_H istedenfor d i metoden under. Legg merke til at programmet ikke validerer verdier for antall armeringsrader ($n_{r,min}$) og antall jern per omkrets ($n_{t,min}$), da dette gjøres i validering av senteravstander og avstand til ytre kontrollsnitt. Radiell senteravstand, s_r , settes lik $s_{r,max}$ (rundet ned til nærmeste heltall) i følgende formler, men dersom bruker har overstyrt verdien i inndata benyttes denne.

Merk at programmet beregner kun nødvendig skjærarmering dersom det er behov for skjærarmering, og det kritiske kontrollsnittet eksisterer. Hvis nødvendig skjærarmering ikke skal/kan beregnes settes alle relevante verdier som går på areal eller antall til 0, og senteravstander settes som udefinert.

Antall rader med skjærarmering bestemmes fra følgende formler.

$$n_{r,min} = \left\lceil \frac{r_{out} - r_0 - kd}{s_r} \right\rceil + 1 \geq n'_{r,min}$$

$$n'_{r,min} = \begin{cases} 1 & \text{for } \alpha < 60^\circ \\ 2 & \text{ellers} \end{cases}$$

Minstekravet for antall jern per omkrets bestemmes med tanke på største senteravstander og minste jernareal. Verdiene på u_{out-kd} , $s_{t,max,u1}$ og $s_{t,max}$ bestemmes fra formlene i kapittel Skjærarmering for gjennomlokking.

$$n_{t,min,u1} = \left\lceil \frac{u_{1,full}}{s_{t,max,u1}} \right\rceil$$

$$n_{t,min,out-kd} = \left\lceil \frac{u_{out-kd,full}}{s_{t,max,out-kd,rn}} \right\rceil$$

$$s_{t,max,out-kd} = \begin{cases} s_{t,max,u1} & \text{dersom } r_{out-kd} \leq r_{u1} \\ s_{t,max} & \text{ellers} \end{cases}$$

Nødvendig skjærareal for hver omkrets bestemmes med følgende formler.

- ▶ Dersom $v_{Ed,1} > k_{max}v_{Rd,c}$ bestemmes største mulige skjærareal med tanke på utnyttelsen. I tillegg gis det en advarsel.

$$A_{sw,t,min} = \frac{s_r u_1}{1,5 f_{ywd,ef} \sin \alpha} [(k_{max} - 0,75)v_{Rd,c}]$$

- ▶ Ellers settes skjærareal til nødvendig areal slik at utnyttelsen for skjærkraft blir 1,0.

$$A_{sw,t,min} = \frac{s_r u_1}{1,5 f_{ywd,ef} \sin \alpha} (v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c})$$

Nødvendig antall jern per omkrets for at nødvendig skjærareal for omkretsene, $A_{sw,t,min}$, er oppfylt kan da settes lik

$$n_{t,cs} = \left\lceil \frac{u_{1,full}}{u_1} \frac{4A_{sw,t,min}}{\pi \phi^2} \right\rceil$$

I tillegg beregnes og kontrolleres:

- ▶ Minste areal for skjærarmering per areal

$$\bar{A}_{sw,min} = \frac{A_{sw,min}}{s_r s_t} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{(1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) f_{yk}}$$

- ▶ Minste areal for skjærarmering (merk at i denne formelen er $s_{t,out-kd} \leq 2d$)

$$A_{sw,min} = s_r s_{t,out-kd} \bar{A}_{sw,min}$$

- ▶ Avstand fra belastet flate til ytterste skjærarmeringsrad

$$r_n = r_0 + (n_r - 1) s_r$$

- ▶ Nødvendig tangentiell senteravstand

$$s_{t,req,cs} = \frac{\pi \phi^2 u_1}{4 A_{sw,t,min}}$$

$$s_{t,req,u1} = \min\{s_{t,max,u1}; s_{t,req,cs}\}$$

$$s_{t,req,out-kd} = \min\{s_{t,max,out-kd}; s_{t,req,cs}\}$$

Se Skjærarmering for gjennomlokking for mer informasjon og definisjoner av verdier.

Forbedringer fra ISY G-Prog

Enterprise-versjonen av ISY Design Gjennomlokking tilbyr flere nye funksjonaliteter.

- ▶ Nye geometrier på belastet flate
- ▶ Nye geometrier på utsparinger
- ▶ Voute
- ▶ Generering av optimal voute

I tillegg er standardutgaven av ISY Design Gjennomlokking betraktelig forbedret fra ISY G-Prog Gjennomlokking.

- ▶ Programmet lar bruker definere innlagt skjærarmering.
- ▶ Alle mulige kontrollsnitt kontrolleres. Bruker kan også velge hvilke kontrollsnitt som skal inkluderes i kapasitetskontrollen.
- ▶ Det vises mye flere resultater fra mellomberegninger for å enklere kunne gjøre kontrollberegninger.
- ▶ Programmet lar bruker kunne generere armering - strekk- og/eller skjærarmering, slik at strekkbruddkontroll blir godkjent for alle inkluderte kontrollsnitt/laster.
- ▶ Forbedret beregning av kontrollsnitt ved trykkbruddkontroll, u_0 .
- ▶ Ved beregning av β vil kreftene automatisk transformeres til senter av hvert enkelt kontrollsnitt. (I ISY G-Prog Gjennomlokking måtte man gjøre denne jobben manuelt.)
- ▶ Generelt forbedret beregning av β
 - Bruker kan angi en egendefinert verdi for β som vil benyttes for alle inkluderte kontrollsnitt/laster.
 - Beregning av u_{1*} er forbedret for modeller der kant ikke er helt inntil belastet flate.
 - Beregningsmetode for β kan tilpasses av bruker slik at den blir mest mulig korrekt for den enkelte situasjon.
 - Beregning av plastisk motstandsmoment, W_1 , er forbedret.
- ▶ Generell forbedret brukeropplevelse.
 - Forbedret grafisk editering av geometri.
 - Ny og moderne visning av inndata og resultater.
 - Modell kan vises i både 2D og 3D med visning av krefter, kontrollsnitt, og armering.
 - Forbedret feilmeldingssystem.
 - Bruker har flere avanserte valg som gir bedre kontroll på hva programmet skal regne.
 - Kontrollsnitt vises i inndata og er alltid oppdatert. På denne måten kan bruker se innvirkning av endringer av inndata som påvirker kontrollsnittet.
 - Grafisk visning av resultater viser alle relevante kontrollsnitt; u_1 , u_{out} og u_{out-kd} . I tillegg viser ISY Design det totale området som krever armering.