

## Betongtverrsnitt – programbeskrivelse

(Programversjon 25.01 - fullversjon)

### 1. Generelt

Programmet utfører snittkontroller for et betongtverrsnitt påkjent av ulike typer av lastvirkninger. Beregningene utføres iht. Eurokode 2 (EK 2) med tilhørende nasjonalt tillegg (NA).

Tverrsnittet kan være plateformet (breddeenhet 1 m), rektangulært, T-tverrsnitt, såkalt «ekvivalent bruttverrsnitt» (tilsvarende som T-tverrsnitt, men armeringen gis inn med senteravstand, som for plater) eller sirkulært.

Lastvirkningene gis inn under menyvalget «Laster». Avhengig av hvilke lastvirkninger som er valgt, blir aktuelle snittkontroller gjort aktive under menyvalget «Beregninger».

I lasttabellen er det en del snittkontroller og lastkomponenter som er gjort inaktive, dvs. at kombinasjonen ikke kan velges, eller at det ikke er mulig å gi inn lastverdier.

Inndatafeltene for lastvirkninger vil være aktive avhengig av valgt tverrsnittsform.

Armeringen kan gis inn som enkeltstenger, eller buntet med inntil 3 stenger pr. bunt (diameter av hver enkelt stang kan være forskjellig).

Om ønskelig, eller om en har flere enn 3 stenger pr. bunt, kan ekvivalent diameter gis inn direkte. For platetverrsnittet kan en gi inn 2 lag armering i uk og ok. For det rektangulære tverrsnittet kan en gi inn 3 lag armering i uk og ok. For T-tverrsnittet kan en for stegdelen gi inn armering tilsvarende som for rektangulært tverrsnitt, i tillegg til ett lag i flens. For sirkulært tverrsnitt kan en gi inn armering i ett lag.

Krav til minste overdekning for armeringsstålet er i utgangspunktet gitt iht. reglene i Eurokode 2.

Det er lagt inn mulighet for å gi inn et tillegg, slik at krav til minste overdekning av hensyn til bestandighet kan angis iht. Håndbok N400 «Bruprosjektering», pkt. 8.3.1.

Kamstålets byggemål er gitt i tabell 8.7.1-1 i N400. Disse brukes i programmet. Minste stangdiameter i tabellen er imidlertid  $\varnothing 12$ . I programmet er det også mulig å benytte stangdiameter  $\varnothing 8$  og  $\varnothing 10$ . For disse antas byggemål hhv. 10 og 12 mm.

Ved beregning av kryptall antas at trykkspenningen i betongen har et nivå som ikke overskrider grensen for antakelsen om lineært kryp iht. pkt. 3.1.4 i EK 2. Det påhviler bruker å verifisere om denne forutsetningen er gyldig. Om grensen for lineært kryp overskrides, bør ikke-lineært kryp vurderes. Formel (3.7) i pkt. 3.1.4 i EK 2 angir et uttrykk for et slikt ikke-lineært fiktivt kryptall. For å ta hensyn til ikke-lineært kryp, kan en i programmet gi inn en lavere fiktiv verdi for den relative fuktigheten som gir samme beregningsmessige kryptall som det ikke-lineære.

Ved innlesing av inndata oppdateres figurer etc. etter hvert som en gir inn nye data.

Det er lagt vekt på at programmet skal være enkelt å bruke, og mest mulig selvforklarende, med utstrakt bruk av grafisk presentasjon.

Utskriften er utformet slik at denne i seg selv skal kunne gi tilstrekkelig dokumentasjon på beregningsresultatene, og slik at det skal være mulig å vurdere riktigheten av resultatene.

I det følgende gis en kort omtale av hver enkelt tverrsnittkontroll som kan utføres i programmet.

### 2. Dimensjonering for moment

Kapasiteten i bruddgrensetilstand beregnes for et tverrsnitt påkjent av rent moment.

Spennings-/tøyningssammenhengen for armeringsstålet kan velges iht. de to alternative metodene beskrevet i pkt. 3.2.7 i EK 2. I utgangspunktet antas metode b) i programmet, dvs. ideell flytning, og med tøyningsgrense lik det dobbelte av flytetøyningen (tilsvarende såkalt «normalarmert» tverrsnitt). Dette kan endres av bruker.

Under «Resultater» blir tøyning- og spenningsfordelingen over tverrsnittshøyden tegnet ut for to tilfeller: for aktuell momentpåkjenning og for maksimal momentkapasitet. Om momentkapasiteten er overskredet, blir det gitt melding om det.

Størrelse og plassering av indre kraftresultanter blir også angitt, i tillegg til plassering av nøytralaksen for de to tilfellene.

### 3. Beregning av rissvidder

Rissviddene beregnes i bruksgrensetilstanden iht. pkt. 7.3 i EK 2.

Platetverrsnitt og rektangulært tverrsnitt beregnes for momentpåkjenning ev. kombinert med aksialkraft (trykk- eller strekkraft). Trykkraft gis inn med positiv verdi. For brutverrsnitt og T-tverrsnitt forutsettes ren momentpåkjenning.

Ved rissviddeberegningen kontrolleres først om innlagt armering tilfredsstillende kravet til minimumsarmering gitt i pkt. 7.3.2 i EK 2. Om så er tilfelle, kan en gå videre for å beregne størrelsen på rissviddene iht. pkt. 7.3.4 i EK 2. For T-tverrsnitt eller brutverrsnitt påkjent av negativt moment (dvs. strekk i overkant), beregnes steg og flenser hver for seg.

Lastvirkningene ved kontroll av rissvidder skal være iht. lastkombinasjon gitt i Tabell NA.7.1N i EK 2. Iht. denne tabellen skal eksponeringsklassene XD3 og XS3 beregnes for lastkombinasjon «Ofte forekommende» iht. NS-EN 1990. For øvrige eksponeringsklasser, unntatt XSA, brukes lastkombinasjon «Tilnærmet permanent». Det forutsettes naturligvis at lastvirkninger som gis inn, er beregnet ut fra riktig lastkombinasjon for aktuell eksponeringsklasse.

For eksponeringsklasse XSA må både lastkombinasjon og grenseverdi for rissviddene vurderes særskilt.

For ferdigtilstanden er grenseverdien for største beregningsmessig tillatte rissvidde gitt i EK 2.

For byggefasen og midlertidige situasjoner kan grenseverdien settes til 0,50 mm iht. pkt. 8.6-3 i Håndbok N400. Lastvirkninger beregnes da iht. bruksgrensetilstanden, kombinasjon «Tilnærmet permanent».

### 4. Dimensjonering for skjærkraft

Kapasiteten i bruddgrensetilstanden beregnes for et tverrsnitt påkjent av skjærkraft og ev. kombinert med moment og aksialkraft.

Skjærkapasiteten for et tverrsnitt beregnes iht. EK 2 etter to forskjellige metoder avhengig av om det er beregningsmessig behov for skjærarmering eller ikke.

Pkt. 6.2.2 i EK 2 angir en empirisk formel for skjærkraftkapasiteten uten skjærarmering. Om opp-tredende skjærkraft er større enn denne kapasiteten, beregnes skjærarmeringsbehovet ut fra fagverksmodellen gitt i pkt. 6.2.3 i EK 2. Vinkelen mellom betongtrykkstavene og bjelkeaksen ( $\theta$ ) kan velges mellom gitte verdier. Iht. pkt. NA.6.2.3 skal  $\cot\theta$  være i området 1,0 og 2,5.

I pkt. 8.5-2 i Håndbok N400 er det spesifisert at  $\cot\theta$  ikke skal velges større enn 2,0.

Dette må en selvsagt ta hensyn til ved dimensjonering av konstruksjoner iht. N400. Programmet gir en påminning om dette.

For tverrsnitt med betydelig aksialstrekk skal verdien av  $\cot\theta$  begrenses til 1,25. Dette er gitt i pkt. NA.6.2.3, hvor «betydelig» aksialstrekk også er definert.

Skjærkapasiteten er videre avhengig av vinkelen skjærarmeringen danner med bjelkeaksen. I programmet er det lagt inn som forutsetning at denne vinkelen velges i området 45 til 90 grader. Det mest vanlige er å bruke skjærarmering som danner 90 graders vinkel med bjelkeaksen (vertikale bøyer).

Programmet beregner minimum skjærarmering ut fra bestemmelsene gitt i EK 2, og beregner teoretisk senteravstand for skjærarmeringsenhetene. Bruker kan overstyre denne senteravstanden, og velge en avstand f.eks. ned til nærmeste hele 50 mm.

Faktoren  $k_2$  for tilslagstype ved skjærkontroll blir i utgangspunktet satt til 0,18. Normalt vil kriteriene (gitt i EK 2) for å velge verdien 0,18 være oppfylt. Om så ikke er tilfelle, kan dette endres under «Materialer» i hovedmenyen.

## 5. Dimensjonering for moment og aksialkraft

Kapasiteten i bruddgrensetilstanden beregnes for et tverrsnitt påkjent av moment og aksialkraft. Tverrsnittet kan være plateformet, rektangulært eller sirkulært. For plateformet tverrsnitt er det naturligvis kun énaksial momentpåkjenning som er aktuelt (moment om z-aksen).

For rektangulært og sirkulært tverrsnitt kan momentpåkjenningen være énaksial eller biaksial. Spenning-tøyningsssammenhengen for armeringsstålet kan velges som beskrevet under «Dimensjonering for moment».

Under menyvalget «Laster» kan bruker velge om programmet skal foreta en kapasitetskontroll (dvs. uten å ta hensyn til 2. ordens effekter), eller om tverrsnittet skal kontrolleres for 2. ordens effekter. Om en velger «Tverrsnittskapasitet» gir en inn moment og aksialkraft direkte i lastskjemaet.

Om en velger «Slank trykkstav» må inndata gis under menyvalget «Beregning», undermeny «MN-dimensjonering» og videre til «Slank trykkstav».

Ved kontroll av tverrsnittskapasitet kan en gi inn symmetrisk eller usymmetrisk armering (aktuelt når momentet i én retning er betydelig større enn i motsatt retning).

Ved kontroll av tverrsnittskapasitet (ikke 2. ordens effekter), er det i lastskjemaet gitt mulighet for å legge inn inntil fire ulike lastkombinasjoner, slik at disse kan plottes i samme M/N-diagram.

Aksialkraften kan gis inn som trykk-/eller strekkraft (positiv verdi for trykk). Om aksialkraften angis til null, blir aktuell lastkombinasjon ikke kontrollert (dette vil da tilsvare ren momentpåkjenning).

Slik beregningsgrunnlaget er utformet i EK 2, er det ved dimensjonering for 2. ordens effekter, bare mulig å velge symmetrisk armering. Programmet kontrollerer om innlagt armering er symmetrisk, og gir melding om så ikke er tilfelle. Inndata må da endres før en kan komme videre. Det er lagt inn en toleranse på pluss/minus 1% på armeringsmengde/-plassering, slik at en har litt «slingringsmonn» i forhold til symmetrikravet. For biaksial påkjenning må armeringen være symmetrisk om begge akser. Effektiv lengde av trykkstaven beregnes iht. pkt. 5.8.3.2 i EK 2. Figur 5.7 i dette punktet angir sju forskjellige knekkformer og tilhørende effektive lengder.

De første fem knekkformene, betegnet a) til e), representerer «klassiske» knekkformer, med tilhørende effektive lengder (knekk lengder). For disse fem første knekkformene er det lagt inn mulighet for å velge mellom teoretiske knekk lengder og praktiske knekk lengder. For sistnevnte tilfelle kan bruker legge inn egenbestemte knekk lengder, bl.a. basert på at det er vanskelig i praksis å oppnå full innspenning. Praktisk knekk lengde kan naturligvis ikke velges mindre enn teoretisk. Programmet kontrollerer dette.

For knekkformene betegnet f) og g) kan en gi inn forskjellige innspenningsgrader i endene. Knekkform f) gjelder for avstivet konstruksjonsdel, og knekkform g) gjelder for ikke-avstivet (forskyvelig) konstruksjonsdel. I underpunkt (3) er det gitt formler for beregning av effektiv lengde for knekkform f) og g).

I programmet blir beregningen av effektiv lengde skrevet ut iht. disse formlene.

Det er videre lagt inn mulighet for å velge forskjellige varianter av innspenninger i endene.

I underpunkt (5) er det presisert at en normalt skal regne med stivhet basert på risset tverrsnitt for avstivende deler. Det er bare når det kan påvises at de avstivende delene er urisset i bruddgrensetilstanden, at en kan regne med uopprissede tverrsnitt.

I programmet er det lagt inn mulighet for å velge om avstivende deler skal regnes risset eller urisset. For risset tverrsnitt blir armeringsmengden på trykk- og strekksiden antatt iht. krav til minimumsarmering ut fra valgt tverrsnitt. Om ønskelig, kan denne armeringsmengden overstyres av bruker.

2. ordens effekter blir beregnet iht. metoden basert på nominell krumning (pkt. 5.8.8 i EK 2).

Programmet skriver ut mellomresultater iht. oppsettet gitt i standarden, slik at en skal kunne følge beregningsgangen fram til dimensjonerende lastvirkninger for trykkstaven.

Iht. EK 2 kan en se bort fra 2. ordens effekter når slankheten for staven er under en gitt grenseverdi. Om slankheten blir beregnet til å være under denne verdien, gir programmet melding om det. Staven kontrolleres da for ren tverrsnittskapasitet for bøyning om aktuell akse. Ved biaksial påkjenning blir naturligvis beregnet slankhet sammenholdt med grenseverdien for hver av aksene. M-N-diagrammet tegnes opp, og aktuelle M/N-kombinasjoner plottes. Om disse ligger innenfor kapasitetsdiagrammet, er kapasiteten av tverrsnittet i orden.

Programmet angir med rød skrift om lastkombinasjonen ligger på utsiden av diagrammet (dvs. at tverrsnittet har for liten kapasitet for denne kombinasjonen).

Dersom det er lagt inn symmetrisk armering i tverrsnittet, kan en velge om M-N-diagrammet skal tegnes opp dimensjonsavhengig eller dimensjonsløst. I sistnevnte tilfelle kan en også velge å få tegnet opp en «kurve-skare» for forskjellige armeringsmengder, slik at en kan vurdere hvor mye kapasiteten av tverrsnittet kan økes ved å øke armeringsmengden.

For usymmetrisk armering blir M-N-diagrammet bare tegnet opp dimensjonsavhengig.

Ved kontroll av ren tverrsnittskapasitet for sirkulært tverrsnitt blir ev. biaksial momentpåkjenning gjort om til et ekvivalent resulterende moment basert på vektorsummasjon.

Ved biaksial påkjenning av slank trykkstav blir kapasiteten beregnet for hver akse for seg.

Når kapasiteten er funnet å være i orden for påkjenning om begge akser, kan en gå videre for å beregne kapasiteten for biaksial bøyning iht. pkt. 5.8.9 i EK 2.

Iht. pkt. 5.8.9(2) i EK 2, er det bare nødvendig å ta hensyn til geometriske avvik i den retning der de vil ha mest ugunstig virkning. I utgangspunktet blir geometriske avvik tatt med i begge retninger.

Programmet gir melding om hvilken retning geometriske avvik kan neglisjeres for.

Bruker kan da gå tilbake og spesifisere at geometriske avvik i angitt retning ikke skal tas med.

Om bruker mot formodning har lagt inn at geometriske avvik skal neglisjeres i den retningen hvor de har minst ugunstig virkning, gir programmet melding om det.

Dimensjonerende snitt for bøyning om z-aksen og y-aksen kan ha ulik plassering i konstruksjonsdelen. Om det er tilfelle, gir programmet melding om det ved biaksial kontroll.

Bruker kan da velge om den biaksiale kontrollen skal ta utgangspunkt i dimensjonerende snitt for bøyning om z-aksen eller bøyning om y-aksen. Basert på hvilket utgangspunkt som er valgt, beregner programmet tilhørende bøyemoment om hhv. y- eller z-aksen.

For å finne størst utnyttingsgrad ved biaksial kontroll, kan det være nødvendig å beregne for begge tilfellene (dvs. både med utgangspunkt i bøyning om z-aksen og y-aksen).

Om en legger inn moment om begge akser i et rektangulært tverrsnitt kombinert med strekraft, gjør programmet dette om til énaksial momentpåkjenning. Grunnen er at regelverket for biaksial kontroll i EK 2 er gitt under hovedkapittel 5.8 «Analyse av andre ordens virkninger med aksial belastning».

Det er ved trykkraft i tverrsnittet at det er aktuelt å kontrollere for andre ordens virkninger.

Interaksjonsformelen gitt i kap. 5.8.9 (formel 5.39) gjelder for trykkbelastning.

I et slikt tilfelle, med biaksial momentpåkjenning og strekraft, kan en kontrollere kapasiteten for momentpåkjenning om hver akse for seg. Det er videre opp til bruker å vurdere kapasiteten for kombinert momentpåkjenning og strekraft.

## 6. Dimensjonering for torsjonsmoment

Kapasiteten i bruddgrensetilstanden beregnes iht. pkt. 6.3 i EK 2.

I foreliggende programversjon er det kun rektangulære tverrsnitt som kan beregnes for torsjonsmoment. Det er videre bare mulig å beregne for rent torsjonsmoment, dvs. det er ikke lagt inn mulighet for å kombinere torsjonsmomentet med skjærkraft og/eller bøyemoment.

Ved en kombinasjon av lastvirkninger må en beregne hver enkelt lastvirkning for seg (skjærkraft og/eller bøyemoment) og summere nødvendig armeringsbehov (lengde- og bøylearmering) manuelt.

Regler for torsjonsarmering er gitt i pkt. 9.2.3 i EK 2. Programmet kontrollerer om beregnet senteravstand for torsjonsbøyer er mindre enn det som framgår av regelverket. Om så er tilfelle, blir naturligvis beregnet senteravstand bestemmende.