

Projektering:

LB • LBE

Bjælker



* Interaktiv indholdsfortegnelse - klik på emne

GENEREL PROJEKTERING	2	Fugearmering	6
Elementgeometri	2	Fortanding	6
Statiske forhold	2	Reduktion af forskydningskapacitet af huldæk	7
Kompositbjælke	2	Forskydning	7
Armering	3	Vridning	7
Pilhøjde	3	Ophængslast	8
Sidepil	3	Negative momenter	8
Vederlag	3		
Andre geometriske udformninger	4	BEREGNINGSEKSEMPEL	8
Udsparinger	4	Valg af bjælke type	8
Skrå afskæringer	4	Dimensionering med bæreevner	8
Saddelhak	4	Konsekvensklasse	9
Skjulte lineender	4	Revnekriteriet	9
		Balancekriteriet	9
Indstøbningsdele	5	DEFORMATION	9
Standard indstøbninger	5	Generelt	9
Udragende bøjler	5	Pilhøjde	9
Udragende stritter	5	Vinkeldrejninger	10
Andre indstøbninger	5	Længdeændringer	10
Overflader	5		
Normgrundlag	5		
Norm	5		
Kontrolklasse	5		
Miljøpåvirkning	6		
Tolerancer	6		

Statiske forhold

Bjælkerne kan enten udføres som simpelt understøttede bjælker eller som kontinuerlige "Gerber"-dragere over flere fag, som ved indskudte charnierersamlinger er gjort statisk bestemt.

Model af det statiske princip:

Simpelt understøttet bjælke



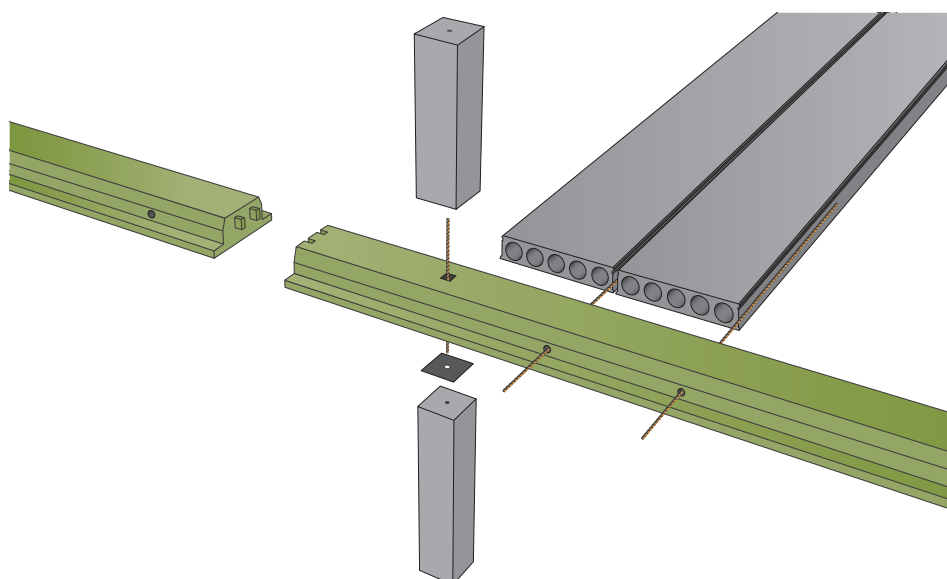
Gerber bjælke



----- Momentkurve

Længden på den udkragede del af bjælken kan vælges så forholdet mellem udnyttelsen af bjælkens positive og negative momentkapacitet optimeres. Den endelige dimensionering foretages af Spæncoms ingeniører.

Bjælker udført som "Gerber"-dragere gør det ofte muligt at øge spændvidden og giver samtidig simplere og mere fleksible søjle-bjælkesamlinger i etageadskillelsen. Søjlerne kan således placeres direkte ovenpå bjælkekroppen uden anvendelse af søjleskaft.



Kompositbjælke

Som en variant kan også nævnes bjælker, der udføres med udragende forskydningsbøjler eller lignende i oversiden med henblik på senere sammenstøbning og samvirken med et pladsstøbt trykhoved.

Armering

Forspændt armering

Der anvendes normalt liner i dimensionen 9,3 og 12,5 mm med lav relaksation. Armeringen leveres i henhold til standarden: pr EN 10138 med garanterede brudstyrke:

L 9,3 - 97 kN

L 12,5 - 173 kN

Slap armering

Slap, ribbet eller profileret armering er produceret iht. EN 10080.

Den forspændte armering kan eventuelt suppleres eller delvis erstattes med slap armering. Det er for eksempel ofte påkrævet at tilføje slap armering i oversiden i bjælker med overragende ender, men også som trykarmering eller supplement til hovedarmeringen kan slap armering komme på tale.

En anden almindelig armeringsvariation består i at isolere en del af linerne på en vis strækning fra bjælkeender for at opnå en lokal reduktion af forspændingen – igen typisk for at muliggøre overragende ender.

Armeringsplacering

Ved placering af indstøbningsdetaljer er det vigtigt at tage hensyn til armeringens placering. Spæncom oplyser gerne den aktuelle armeringsplacering, som også fremgår af produktionstegningerne.

Pilhøjde

På grund af armeringens forspænding vil bjælkerne få en pilhøjde, der vil variere med tiden og belastningen. Ved valg af bjælkehøjde og forspændingen kan pilhøjden til en vis grad styres.

Som resultat af varierende lagringsforhold (temperatur, luftfugtighed) vil der komme variation i pilhøjderne. I produktstandarden EN 13225 er angivet de maksimalt tilladelige afvigelser fra den angivne pilhøjde til 1/465 af spændvidden. Endvidere overstiger afvigelsen af pilhøjden sjældent 50% af pilhøjden.

De beregnede pilhøjder svarer til en lagringstid på ca. 1 måned og er baseret på urevnede tværsnit. For de maksimalt armerede tværsnit, hvor der typisk anvendes slap armering som overside armering, er denne forudsætning oftest ikke overholdt, hvorfor pilhøjden vil være større end den angivne.

Ønskes en nøjagtigere bestemmelse af pilhøjderne og deres udvikling med tiden, henvises til faglitteraturen. Man skal være opmærksom på, at der er mange variable som har indflydelse på udviklingen, hvorfor beregningen er behæftet med væsentlige usikkerheder.

Sidepil

En beskeden unøjagtighed i formopstillingen kan bevirke, at forspændingsresultanten kommer til at virke med en tilsvarende ekscentricitet i sideretningen. For slanke bjælker kan dette resultere i en sideudbøjning. Også forhold under lagringen – sol og vind bl.a. – kan give anledning til en vis sidepil som følge af uens svind og krybning. I praksis frembyder sideudbøjning sjældent noget problem. For de slankeste bjælker kan det dog undertiden være nødvendigt at foretage en opretning ved hjælp af stag eller lignende, men i disse tilfælde er det som regel nødvendigt at foretage sideafstivning i forvejen. Der er ikke fastsat tolerancer på sidepil. Som hovedregel kan der regnes med, at sidepilen normalt vil ligge inden for 1 ‰ af længden.

Vederlag

Som minimum skal bjælkerne have et vederlag på 100 mm og overholde følgende grundregler:

1. Hold lasten væk fra de yderste 20-30 mm.
2. Brug indstøbte, forankrede lejeplader – i hvert fald, når vederlaget er helt ude ved bjælkeende.
3. Undgå fast forbindelse i begge ender af en bjælke, når understøtningerne er ueftergivelige.

De indstøbte lejeplader bør forankres for de vandrette kræfter, der kan tænkes at forekomme. I mangel af nærmere vurdering kan friktionskræfter skønsmæssigt anslås til ca. 50 % af den lodrette stadigt forekommende last.

Det lodrette lejetryk må holdes inden for tilladelige grænser: Det tilrådes således at begrænse den regningsmæssige last på bjælkeenden, så den højst svarer til et jævnt fordelt tryk på ca. 10 MPa på det effektive lejeareal, når der anvendes simple stållejer.

Det effektive lejeareal er det delareal, som reaktionen virker centralt på.

Ved brug af fordelende lejer, som neopren opnås en jævnere trykfordeling, hvorved det tilsvarende regningsmæssige tryk kan øges til ca. 15 MPa, alt under forudsætning af, at underlaget tillader de nævnte spændinger.

Det bør vurderes, i hvert enkelt tilfælde, om vridningspåvirkning på bjælken – også selv om den ikke tages i regning ved beregning af bjælken – kan nedføre uacceptable forøgelse af spændingerne i vederlagene. For at imødegå dette bedst muligt bør bjælkerne altid understøttes i fuld bredde.

Fordelende lejer er også velegnede til at optage moderaten langsfor skydninger som følge af svind og krybning.

Ved større og gentagne bevægelser – f.eks. på grund af temperaturvariationer – må der vælges andre lejetyper og foretages en dimensionering og indbygning efter leverandørens anvisninger. Uarmerede og armerede neoprenlejer kan elastisk optage betydelige deformationer afhængigt af tykkelse og form.

Neoprenlejer kræver ekstra opmærksomhed ved montage af dækelementerne, idet en ensidig montage kan bringe bjælken mærkbart ud af lod og overbelaste lejerne. Glidlejer med teflon eller lignende kan komme på tale ved endnu større bevægelser. Løse lejer indgår normalt ikke i Spæncoms leverance.

Udover de vandrette bevægelser i lejerne – som blandt andet beror på om søjlerne kan "følge med" – skal lejerne også kunne optage de lastbetingende vinkeldrejninger. For de simple stållejer vil vinkeldrejningerne resultere i høje kantspændinger. Ved Neoprenlejer og lignende indgår vinkeldrejningerne derimod i den egentlige dimensionering af disse. Den vinkeldrejning, der forekommer ved montering afhænger af leveringspilhøjden og eventuelle unøjagtigheder i placering af de indstøbte lejeplader, og kan som regel ikke forudsiges med større nøjagtighed. Der må derfor ofte påregnes en justering på stedet.

ANDRE GEOMETRISKE UDFORMNINGER

Udsparinger

Udsparinger for rørgennemføring og lignende på tværs af bjælkerne udføres som regel ved hjælp af cirkulære plastrør. Plastrørene efterlades normalt i betonen. Udsparinger i andre størrelser og former kan udføres. For alle udsparinger gælder, at såvel størrelse som placering må vælges under hensyntagen til formene, armering og bæreevnen.

I bæreevnebedømmelsen indgår tre hovedelementer:

1. Der skal være tilstrækkelig trykzone over udsparingen.
2. Det reducerede tværsnit skal kunne bære hele forspændingen.
3. De skrå betonspændinger i forskydningszonerne skal kunne ledes forbi udsparingerne på forsvarlig måde (jvf. SBI-rapport 141, 1983)

Sammenfattende gælder, at jo hårdere en bjælke er udnyttet, des mere begrænsede er mulighederne for at foretage udsparinger. Længden af rektangulære udsparinger bestemmes desuden ofte af hensynet til en effektiv udstøbning af betonen under udsparingen.

Skrå afskæringer

Vi udfører skrå ender i vilkårlige grader.

Saddelhak

Saddelhak kan udføres, men er begrænset af statiske krav.

Skjulte lineender

Hvis lineenderne skal skjules, kan det udføres med epoxy eller cementbaseret produkt.

INDSTØBNINGSDELE

Standard indstøbninger

Bjælkerne er normalt forsynet med følgende standardindstøbningsdetaljer:

- Dornhuller til normal dornsamling mellem bjælke og søjle.
- Indstøbte lejeplader i bjælkeende med påsvejste ankre. Sikrer mod skader ved afspændingen og i de endelige vederlag.
- Indstøbte lejebeslag med ankre i overside af konsol.
- Løftebøjler, - huller eller -ankre afhængig af bjælkevægten.

Lejeplader og –beslag er som standard udført i sort stål.

Herudover kan bjælkerne forsynes med andre detaljer efter nærmere aftale.

Udragende bøjler

Bjælkerne kan også udføres med udragende forskydningsbøjler eller lignende i oversiden med henblik på senere sammenstøbning og samvirken med et pladsstøbt trykhoved.

Udragende stritter

Vi kan støbe udragende stritter i toppen af bjælkerne til sammenstøbninger.

Andre indstøbninger

Når der tages hensyn til armeringsplaceringen, kan der indstøbes alle former for beslag, inserts samt udragende gods som bolte, bøjler og lignende i bjælkenes overside. I formsiderne og undersiden ønskes indstøbninger derimod begrænset mest muligt, og udragende gods kan ikke placeres her. Med passende hensyntagen til lineplaceringen kan de fleste fastgørelser foretages senere ved hjælp af iborede ekspansionsbolte eller klæbeankre. Ved iboring af ekspansionsbolte og lignende bør armeringens nøjagtige placering bestemmes med covermeter, medmindre der er rigelig tolerance.

OVERFLADER

Elementerne støbes med grå beton og overflader udføres jf. bips publikation A24.

Bjælkens underside er formglat, svarende til BO 42. Formsider og formende er glat svarende til BO 41. Overside er grov afrettet, svarende til BO 43.

Bjælkenes ender, der normalt ikke ses i det færdige byggeri, har en grovere karakter, og de afskårne spændliner er synlige. Hvor enderne ses i det færdige bygværk, kan bjælkerne på bestilling leveres med påstøbt endeflade.

Hvis bjælkerne skal have sammenhæng med overbetonen, kan bjælkerne på bestilling leveres med ru overside, svarende til BO 53, og evt. opragende bøjler.

NORMGRUNDLAG

Norm

Dimensioneringsgrundlag er det europæiske normsæt – Sikkerhedsbestemmelser EC 0, Laster EC 1, Betonkonstruktioner EC 2 og Produktstandard EN 13225 – Søjler, bjælker og rammer incl. Nationale annekser.

Kontrolklasse

Elementerne udføres i skærpet udførelseskontrol.

Miljøpåvirkning

Er passiv i betonnormens forstand. Udførelse til moderat og aggressiv miljøpåvirkning kan efter aftale gøres ved ændring af betonrecept m.m.

Som standard er betonen uden luftindblanding og de forspændte liner afskåret bindig med endeflader.

Tolerancer

Tolerancekrav er fastlagt, så de overholder kravene i produktstandarden, EN 13225 og branchevejledningen "Hvor går grænsen?".

Elementlængde (L)	Slapt armeret	Forspændt
$L \leq 10$ m	+/- 8 mm	+/- 10 mm
$10 \text{ m} < L \leq 20$ m	+/- 20 mm	+/- 20 mm
$L > 20$ m	+/- 30 mm	+/- 30 mm

Højde/Bredde (H/B)	Slapt armeret	Forspændt
$H/B \leq 0,6$ m	+/- 5 mm	+/- 8 mm
$H/B > 0,6$ m	+/- 8 mm	+/- 12 mm

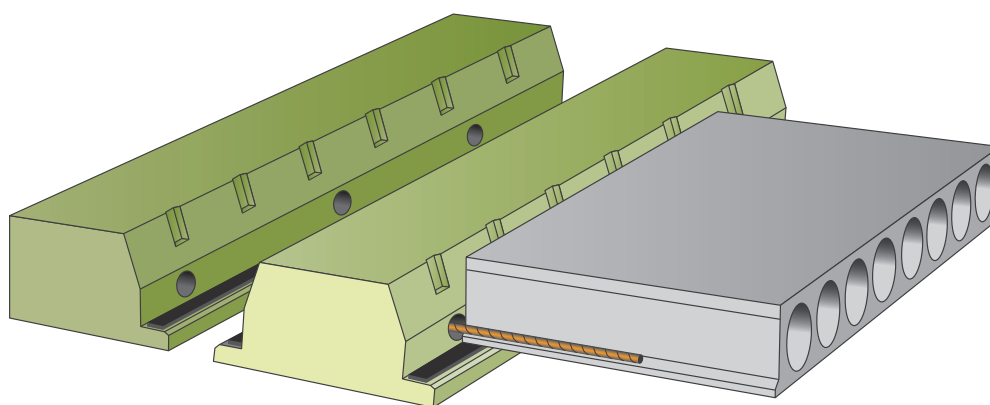
Længdetolerancen er sammensat af bidrag fra afsætning, forkortelse på grund af forspænding og skæv placering af endeforskalling.

Højde- og bredde tolerancerne er ofte uden praktisk betydning. Længdetolerancen er derimod bestemmende for valg af fugestørrelser ved sammenbygning. I praksis anvendes normalt lidt større fuger end ovennævnte længdetolerance direkte skulle foreskrive, f.eks. anbefales: 40 mm, hvor flere bjælker ligger i forlængelse af hinanden. 30 mm, når en bjælke ligger mellem faste søjler, vægge eller lignende, der er placeret indenfor ± 10 mm fra korrekt position.

Indstøbningsdetaljer, der fastgøres i formen kan påregnes placeret med tolerance ± 10 mm på tværs og ± 25 mm på langs. Hertil kommer indflydelse fra længde- og tværsnitstolerancer.

FUGEARMERING

Bjælkerne leveres med $\varnothing 100$ huller til gennemføring af fugearmering fra dækskiven. Hullerne skal efterfølgende udstøbes sammen dækfugerne.



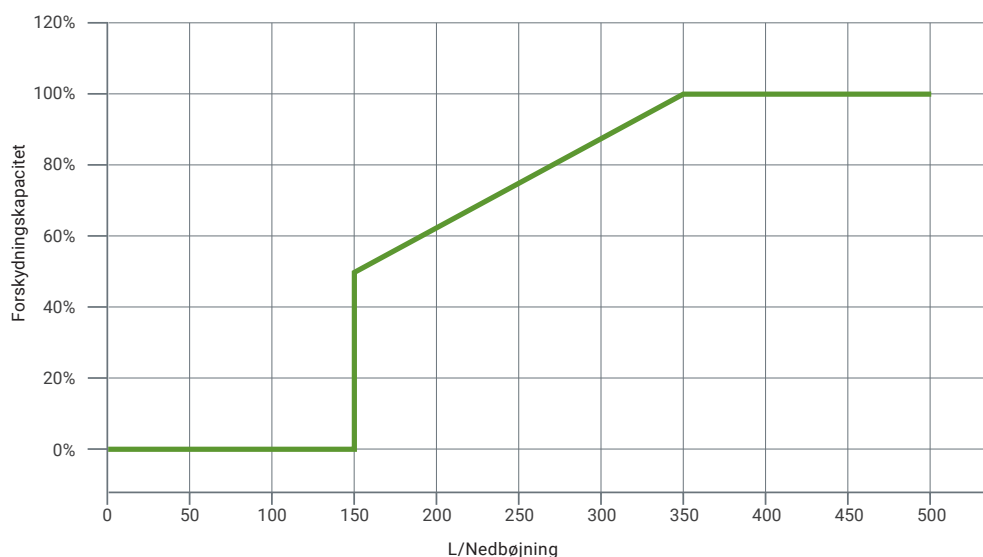
FORTANDING

Bjælkerne leveres med fortanding i bjælkekroppen som sikre en god kraftoverførelse mellem dæk og bjælke.

REDUKTION AF FORSKYDNINGSKAPACITET AF HULDÆK

Bjælkekonsollen betragtes som et eftergiveligt vederlag, og huldækkets forskydningskapacitet reduceres i henhold hertil som følge af bjælkens nedbøjning. Forskydningskapaciteten reduceres anslået til 50 % ved en nedbøjning større end $L/150$.

Reduktion af den anslåede forskydningskapacitet som følge af bjælkens nedbøjning



Kapaciteten kan øges ved udstøbning af huldækkets kanaler over vederlaget.

FORSKYDNING

Stregbetonbjælkerne armeres med bøjler i henhold til reglerne i EC 2. Af praktiske grunde kan det være nødvendigt at udføre bjælken med et overskud af bøjningsbæreevne. Hvis det ønskes kan bøjlearmeringen dimensioneres tilsvarende. Ved høje forskydningspåvirkninger – typisk ved relativt korte bjælker med stor belastning – kan en kraftig bøjlearmering være nødvendig. Forskydningskapaciteten af IB bjælken kan øges ved at øge længden af de massive endestykker. Af økonomiske årsager gøres disse ellers så korte, som standardformstykkerne tillader – normalt dog ikke under ca. en bjælkehøjde.

VRIDNING

LBE-bjælkerne er altid påvirket af ekscentrisk belastning, og LB-bjælkerne har også ofte forskellig last på hver side af bjælken. Der kan i de fleste tilfælde ses bort fra regningsmæssig vridningspåvirkning på bjælken, hvis der kan etableres en momentstiv forbindelse mellem bjælken og de tilstødende plader. Vridningen optages i så fald som tillægsmoment i pladerne, hvis spændvidde derved skal regnes til centerlinie af bjælkekrop. Denne løsning foretrækkes normalt, da vridning ofte resulterer i at der må anvendes større bjælker end ellers nødvendigt. I montagesituationen vil det ofte være nødvendigt at sikre stabiliteten midlertidigt indtil forbindelsen mellem bjælke og plader er etableret.

LB-bjælker, der er centralt belastede for fuld belastning, kan dog normalt uden videre optage den vridning, der opstår, når den bevægelige belastning kan mangle på den ene side af bjælken. Det resulterende bøjlebehov vil i de fleste tilfælde være mindre end for fuld central last. Desuden vil en sådan bjælke i praksis som oftest være indspændt mellem dækkene, og altså hindret i at vride frit.

For bjælker, der ikke er fastholdt og skal beregnes for vridning i kombination med maksimal lodret last, kan bæreevnetabellerne ikke anvendes, idet vridningspåvirkningen reducerer forskydnings- og momentkapacitet. Tal med Spæncom i disse tilfælde.

OPHÆNGSLAST

Udover den bøjlearmering, der er nødvendig til optagelse af forskydning og vridning, forsynes bjælkerne med bøjler, der fører konsollasten op til bjælkeoverside.

NEGATIVE MOMENTER

LB og LBE bjælken kan udføres som kontinuerlige bjælker, hvor bjælkernes kapacitet for negativt moment udnyttes. Længden på den udkragede del vælges så momentkurven optimeres. Af hensyn til forankring af længdearmeringen vil den mest hensigtsmæssige længde af den udkragede del være minimum 1 meter.

Maksimalt kan der påføres en regningsmæssig last på 50 kN/m på konsollen. Al øvrig belastning skal påføres på bjælkens overside.

BEREGNINGSEKSEMPEL

I de følgende eksempler gennemgås beregning for en LB etagebjælke med spændvidde 8,0 meter med EX 27 etagedæk - med en spændvidde på 10,0 meter.

Eksempel:

Belastninger	kN/m ²	Partialk.	Perm. kN/m	Aktuel kN/m	Regn. m. kN/m
Afretning + gulv	1,50	1,00	15,00	15,00	15,00
EX plader	3,89	1,00	38,90	38,90	38,90
Bevægelig last inkl. lette vægge	3,00	1,50	0,00	30,00	45,00
Samlet nyttelast			53,90	83,90	98,90

VALG AF BJÆLKETYPE

Til det overordnede valg af bjælketype og statisk model kan bæreevnekurverne anvendes.

I det aktuelle eksempel kan der iflg. kurverne enten vælges en simpelt understøttet LB 84/27 bjælke eller en LB 66/27 bjælke regnet kontinuerlig over lige store fag.

Vælges den simpelt understøttede bjælke kan bæreevnetabellerne (under udarbejdelse) anvendes til en nærmere vurdering af revne- og balancekriteriet.

Vælges det derimod at anvende den kontinuerlige bjælke må Spæncom ingeniører kontaktes for en nærmere kontrol af bjælken under de faktiske statiske forhold.

DIMENSIONERING MED BÆREEVNER

LB 84/27 har følgende bæreevner:

$q_{ud} = 99,7 \text{ kN/m}$ (under udarbejdelse)

$q_{rev} = 70,5 \text{ kN/m}$ (under udarbejdelse)

$q_{bal} = 40,0 \text{ kN/m}$ (under udarbejdelse)

Denne bjælketype har altså netop tilstrækkelige regningsmæssig kapacitet, medens revnebæreevnen er overskredet. Balancebæreevnen er overskredet lidt, men inden for 50 %, hvilket vil medføre begrænsede krybningsdeformationer.

KONSEKVENSKLASSE

De regningsmæssige bæreevne, som er anført i bæreevnetabellerne gælder for alle konsekvensklasser. I henhold til Eurocode korrigeres laster, hvis konsekvensklassen ændres. Bæreevnen er uændret.

REVNEKRITERIET

Spæncom bjælker dimensioneres normalt således, at der ikke opstår revner for den maksimale belastning, der kan tænkes at forekomme. Revnebæreevnen angiver den belastning, der medfører den første revnedannelse, idet den er beregnet således, at spændingen i undersiden netop svarer til betonens karakteristiske bøjningstrækstyrke. Hvis maksimalbelastningen på elementerne overstiger revnebæreevnen, må det eftervises, at revnevidden ikke overskrider normens grænser, og desuden vil det som regel være tilrådeligt at sørge for, at revnerne er lukkede – med andre ord: at der er tryk i hele tværsnittet – for den stadigt forekommende belastning.

BALANCEKRITERIET

Ønskes krybningsbevægelserne begrænset mest muligt, vil balancebæreevnen ofte være dimensionsgivende. Såfremt den stadigt forekommende last er større end ca. 1,6 gange balancebæreevnen, må det påregnes, at bjælken slutter med at hænge under vandret for den stadigt forekommende last.

Uanset armeringsgrad kan f_{e10} anvendes til vurdering af de elastiske deformationer.

Bæreevnetabellerne kan kun bruges til at træffe et foreløbigt valg af bjælke type. Først detailberegningen med den rigtige armeringsgrad kan give et tilstrækkeligt grundlag for en endelig bedømmelse af revne- og deformationsforhold. Krav om beskedne pilhøjder og deformationer vil ofte resultere i valg af en større bjælke type end den mindst mulige og en tilsvarende lavere armeringsgrad.

DEFORMATION

GENERELT

Når betonen påføres spændinger opstår der en øjeblikkelig deformation, det elastiske bidrag, men efterfølgende sker der en gradvis deformation, krybningen, der normalt udgør den største del af den samlede deformation. Også i spændingsløs tilstand sker der et gradvist svind. Svind og krybning, som udgør den plastiske deformation, er i praksis engangsfænomener, som overstås i løbet af de første år af konstruktionens levetid.

Betonens deformation giver sig til kende på tre måder:

- Bjælkerne får en udbøjning, en pilhøjde, som resultat af de bøjende momenter.
- Der optræder en vinkeldrejning ved vederlagene svarende til udbøjningsfiguren.
- Der sker en forkortelse af bjælkerne, dels som følge af svindet og dels som følge af forspændingen.

PILHØJDE

Udbøjningslinien er resultatet af en opbøjning på grund af forspændingen og nedbøjninger som følge af den ydre last. Da udbøjningsfiguren er forskellig for de to bidrag vil den resulterende udbøjningslinie antage form som en "amorbue". De i bæreevnetabellerne, angivne deformationsværdier, er forenklede beregninger, baseret på forholdene 7 og 25 mellem betonens og stålets elasticitetsmoduler ved henholdsvis korttids- og langtidspåvirkninger. Disse værdier stammer fra erfaringstal og var bl.a. angivet i de danske nationale normer. Da forudsætningerne for en krybningsberegning er meget variable er disse værdier stadig et fornuftigt udgangspunkt for vurdering af pilhøjdenes udvikling.

På leveringstidspunktet regnes med middelværdien 16. Tallene 7, 25 og 16 kan fortolkes således: En elastisk deformation på 7 mm vil med tiden øges med en plastisk deformation på 18 mm til i alt 25 mm, når påvirkningen holdes uændret. Halvdelen af den plastiske deformation antages at ske inden levering, på hvilket tidspunkt den samlede deformation altså vil være $7 + 9 = 16$ mm og restdeformationen derefter 9 mm.

Ved kort lagringstid betyder det, at størstedelen af den plastiske deformation først finder sted efter leveringen. Leveringspilhøjden vil derfor være mindre end normalt. Længere lagringstid resulterer omvendt i større leveringspilhøjde og mindre krybning efter leveringen.

Ud fra tabelværdierne kan der laves skøn over de resulterende pilhøjder på følgende måde: De elastiske deformationer for den permanente og bevægelige belastning findes ud fra f_{e10} ved en enkel proportionering i forholdet mellem lasten og 10 kN/m, som f_{e10} er beregnet for.

Den efterfølgende krybning kan under normale forhold beregnes som:

Restdeformation = $(q_{bal} - q_{stadig}) \times f_{e10} \times 9 / 7$
hvor den stadige last svarer til den kvasipermanente last.

I vurderingen af, hvad der kan accepteres i det enkelte projekt, må der tages hensyn til de ekstremværdier, der kan forekomme.

VINKELDREJNINGER

Til de fleste formål vil det være tilstrækkelig nøjagtigt at regne vinkeldrejningen ved vederlaget til ca. 4 gange pilhøjden divideret med spændvidden.

LÆNGDEÆNDRINGER

Bjælkerne forkorter sig elastisk ved afspændingen. Denne forkortelse kompenseres der for ved afsætningen af længderne i formene.

Som følge af svind og krybning for forspændingskraften vil bjælkerne yderligere forkortes i tidens løb – altså også efter indbygning. Når bjælkerne har nået en alder på ca. 2 mdr. vil størrelsesordenen af dette restsvind og –krybning være 0,3 ‰.

Temperaturbevægelser følger de kendte love, altså ca. 1 ‰ pr. 100 oC.

Det er vigtigt, at knudepunkterne udformes således, at disse bevægelser kan foregå på en kontrolleret måde.