

## **Dansk Betondag 2004**

Hotel Svendborg, Fyn

23. september 2004

## **Sammenligning af sikkerhedsniveauet for elementer af beton og letbeton**

Ingeniørdocent, lic. techn.

Bjarne Chr. Jensen



INGENIØRHØJSKOLEN  
ODENSE TEKNIKUM

Niels Bohrs Allé 1

5230 Odense M

63140300

[www.iot.dk](http://www.iot.dk)

## Formål

I et samarbejde mellem Aalborg Universitet og Ingeniørhøjskolen Odense Teknikum er udført et projekt: Sammenligning af sikkerhedsniveauet mellem elementer af beton og letbeton. Formålet med projektet er på en række udvalgte punkter at sammenligne beregningsmetoder og sikkerhedsniveau for konstruktionselementer af henholdsvis uarmeret beton og armeret beton og af letbeton. Hensigten er at belyse om elementer af beton og elementer af letbeton sikkerhedsmæssigt er stillet ens i deres indbyrdes konkurrence. Projektet er rapporteret i hovedrapporten:

Sammenligning af sikkerhedsniveauet for elementer af beton og letbeton, Aalborg Universitet, Structural Reliability Theory, paper no. 232, 2004. En resumerapport er lagt ud på nettet og kan findes på hjemmesiderne:

[www.civil.auc.dk/i6/publ/jds-resumerapport-2.pdf](http://www.civil.auc.dk/i6/publ/jds-resumerapport-2.pdf)

eller

[www.iot.dk](http://www.iot.dk) under rubrikken Nyheder, hvor man går til Nyhedsarkiv

Arbejdet er udført af John Dalsgaard Sørensen Aalborg Universitet og Bjarne Chr. Jensen, Ingeniørhøjskolen Odense Teknikum.

## Baggrund

Med udgivelse af DS 420 har letbetonelementer fået deres egen konstruktionsnorm. Noget tilsvarende gælder ikke for betonelementer, hvor der er og har været mange års tradition for, at de dækkes af den almindelige betonnorm, DS 411. I hvilken udstrækning det er hensigtsmæssigt eller ej, er ikke et spørgsmål, der har været til diskussion i projektet. Derimod skal arbejdet ses som et led i en vurdering af, om de forskellige konstruktionsmaterialer konkurrerer på lige vilkår. Arbejdet baserer sig på udvalgte emner om sikkerhed ved beregning. Desuden er nogle konstruktive forhold, der vedrører robusthed fra de to normer sammenlignet. Der er således ikke tale om en total sammenligning af de to normers sikkerhedsniveau, bl.a. er så væsentlige elementer som kontrolniveauer og prøvningsstandarder ikke sammenlignet.

Et væsentligt element til igangsætning af arbejdet er en forhåndsviden om, at uarmeret beton har et større sikkerhedsniveau end armeret beton, og at armeret beton har et sikkerhedsniveau svarende til øvrige konstruktionsmaterialer som stål, træ, aluminium etc.

Endelig bør det nævnes at konstruktionsnormerne blev koordineret og partialkoefficienter diskuteret og godkendt i et Koordineringsudvalg for Konstruktionsnormer (KFK). Dansk Standard valgte at nedlægge dette udvalg før Letbetonnormen var afsluttet, dvs. KFK ikke har godkendt letbetonnormen og langt mindre partialkoefficienterne, selv om man kan få det indtryk ved at læse letbetonnormens afsnit om normens tilblivelse.

## Rapportens indhold

Nærværende skriftlige bidrag til Dansk Betondag 2004 kan i sagens natur ikke blive et resume af resumerapporten, men selve rapportens indhold skal nævnes. Kapitel 1 omhandler introduktion og konklusioner, sidstnævnte gengives efterfølgende. I kapitel 2 beskrives kort materialerne beton og letbeton og i kapitel 3 omtales hvorledes sikkerheden af konstruktioner kan vurderes vha. partialkoefficientmetoden og sikkerhedsindeksmetoden. Kapitel 4 indeholder en detaljeret gennemgang og sammenligning af beregningsmetoder til bestemmelse af den regningsmæssige bæreevne for udvalgte konstruktionselementer i henhold til betonnormen DS411:1998 og

letbetonnormen DS420:2003, der begge er baseret på partialkoefficientmetoden. I kapitel 5 benyttes sikkerhedsindeksmetoden til at fastlægge sikkerhedsniveauer for de fleste konstruktionselementer, der er undersøgt i kapitel 4. Der opstilles stokastiske modeller for laster, materialeparametre og modelusikkerheder og sikkerhedsniveauerne sammenlignes. Kapitel 6 sammenligner de krav til robusthed, som stilles i betonnormen DS411:1998 og letbetonnormen DS420:2003.

## Konklusioner

Hovedkonklusionen af rapporten er, at betonelementer og letbetonelementer ikke konkurrerer på lige vilkår.

Desuden kan det konstateres, at normalt må det forventes, at et byggeri med letbetonelementer har mindre sikkerhed og mindre robusthed end et byggeri med betonelementer, hvis de er beregnet efter henholdsvis letbetonnormen og betonnormen.

Blandt rapporten øvrige delkonklusioner kan fremdrages:

- Armeret beton og armeret letbeton til dækelementer har et sikkerhedsniveau svarende til de øvrige klassiske konstruktionsmaterialer som stål, træ og aluminium. Det skyldes at armeringen i de to normer har samme partialkoefficient.
- Uarmerede vægelementer af beton har et betydeligt højere sikkerhedsniveau end det, der svarer til de øvrige konstruktionsmaterialer. En ændring af partialkoefficienten for uarmeret præfabrikeret beton fra 2,5 til 1,82 ( $\gamma_2=1.5$ ,  $\gamma_1=1.1$  og  $\gamma_4=1.1$ ) vil bringe materialerne på samme sikkerhedsniveau.
- Uarmerede vægelementer af letbeton har et lavere sikkerhedsniveau end det, der svarer til de øvrige konstruktionsmaterialer. En forøgelse af partialkoefficienten for uarmeret letbeton er således nødvendig for at bringe materialerne på samme sikkerhedsniveau. Statistisk analyse af de eksakte forøgsdata, som ikke har været til rådighed i dette projekt, kan evt. nedsætte modelusikkerheden for letbeton og dermed reducere partialkoefficienten.
- Partialkoefficienten for materialeparametre bestemmes som et produkt af en række delfaktorer. Fastsættelsen af delfaktorerne  $\gamma_1$  (afhængighed af brudform) og  $\gamma_4$  (sikkerhed ved bestemmelse af materialeparametre) er meget vigtig, og bør fastsættes ud fra de samme principper for letbeton og beton.
- Letbetonnormen tillader at trækstyrker medregnes ved tværbelastede vægge. Det gør betonnormen ikke. Rimeligheden af denne forskel er ikke diskuteret i rapporten, men, hvis der er forhold, der taler for at trækstyrken kan medregnes for letbetonelementer, bør betonelementer have samme mulighed med dertil hørende krav for at kunne gøre det.
- Ved stabilitetsberegninger er der i betonnormen anvendt et forsigtighedsprincip ved fastsættelse af elasticitetsmodul. Det er ikke tilfældet i letbetonnormen – for letbeton uden tilslag vælges endda et elasticitetsmodul, der ligger langt over det, der i øvrigt angives i letbetonnormen med deraf for højt beregnet bæreevne i forhold til den, man ville få med det mere korrekte elasticitetsmodul.
- Af hensyn til bl.a. robusthed indeholder de to normer en række krav og begrænsninger. Disse regler er i vid udstrækning parallelle, men det er karakteristisk, at letbetonnormen tager lettere på disse ting end betonnormen, ligesom letbetonnormen ikke indeholder retningslinier for, hvorledes robusthedskrav kan regnes tilgodeset.

- Blandt de punkter, hvor betonnormens krav er strengere end letbetonnormens, er følgende: armeringens duktilitet, minimumsarmering, vægges slankhedsforhold, vægtykkelser og begrænsninger i styrker. Desuden er der en øget partialkoefficient på uarmeret beton i forhold til det, der bestemmes af sikkerhedsniveauet. I betonnormen øges partialkoefficienten fra 1,65 til 2,5, når betonen ændres fra armeret til uarmeret beton. I letbetonnormen finder ikke nogen forøgelse sted. Alt sammen noget der betyder, at byggeri med letbetonelementer er mindre robust end byggeri med betonelementer.

## Materialebeskrivelse

### Beton

Beton består af cement, tilslag (grus og sten), vand og eventuelle tilsætningsmidler. Alle delmaterialerne skal opfylde en række standarder og sammensættes i henhold til DS 481. Disse forhold skal ikke gennemgås, blot skal det konstateres, at produktet som konstruktionsmateriale er dækket af Eurocodesystemet og af Dansk Standards normer for konstruktioner, herunder DS 411, Norm for Betonkonstruktioner. Denne norm forudsætter at betonens tørdensitet er over 2000 kg/m<sup>3</sup>. Normen gælder for såvel uarmeret som armeret beton, og den gælder for beton støbt på stedet og for betonelementer. I henhold til betonnormen må den karakteristiske betonstyrke ikke regnes højere end 60 MPa for armeret beton og 25 MPa for uarmeret beton.

Betonelementer kan anvendes til mange forskellige typer bygninger, men projektet har koncentreret sig om elementer til væg og dæk, idet det er her, der umiddelbart kan foretages sammenligning med elementer af letbeton.

### Letbeton

Letbeton dækker to meget principielt forskellige materialer, nemlig det der kaldes *letbeton uden tilslag* og *letbeton med uorganiske, porøse tilslag*.

#### *Letbeton uden tilslag*

Letbeton af denne type er en porebeton produceret i en autoklave og kaldes også autoklaveret porebeton eller blot porebeton. I daglig tale ofte gasbeton, uanset hvem der har produceret porebetonen. Råmaterialerne til porebeton skal opfylde kravene i EN 12602, 4.1.

Porebeton har typisk densiteter fra 250 kg/m<sup>3</sup> til 1000 kg/m<sup>3</sup> og deklarerede styrker ( $\approx$  karakteristiske styrker) fra 1,5 MPa til 7 MPa.

Porebeton anvendes som blokke, hvor det er dækket af DS 414, Norm for murværkskonstruktioner, og til dækelementer og vægelementer til lavt byggeri, hvor det som nævnt er dækket af DS 420, Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer.

#### *Letbeton med uorganiske, porøse tilslag*

Letbeton af denne type består af cement, tilslag, (letklinker og sand) vand og eventuelle tilsætningsstoffer. Alle delmaterialer skal opfylde kravene i den harmoniserede standard EN 1520. Det betyder, at letklinkerne skal være i overensstemmelse med EN 13055-1 og øvrige delmaterialer skal være i overensstemmelse med EN 206-1:2000, 5.1.

Letbeton af denne type betegnes typisk letklinkerbeton, som følge af dens indhold af letklinker, der er klinkebrændt ler.

Letklinkerbeton kan fremstilles med åben struktur, og det er den type hvorom betegnelsen letklinkebeton normalt anvendes. Den kan også fremstilles med lukket struktur, hvor den kaldes letkonstruktionsbeton. Letklinkebetonen med åben struktur, dvs. hvor mellemrummene mellem tilslagskornene kun delvist er udfyldt med cementpasta, fremstilles ved en tørstøbning, og den har typisk densiteter fra  $950 \text{ kg/m}^3$  til  $1950 \text{ kg/m}^3$  og deklarerede styrker fra 3,5 MPa til 20 MPa.

Produktet som konstruktionsmateriale anvendt i elementer er dækket af Dansk Standards normer for konstruktionsmaterialer, herunder DS 420, Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer. Letklinkebeton anvendes typisk som dæk- og vægelementer til bygninger i moderat højde, dvs. op til 5 etager.

Hverken letbeton uden tilslag eller letklinkebeton med åben struktur er dækket af Eurocodesystemet.

### **Let konstruktionsbeton**

Let konstruktionsbeton kan være en letklinkerbeton med lukket struktur, dvs. hvor mellemrummene mellem tilslagskornene er udfyldt med kitmasse. Let konstruktionsbeton har typisk densiteter fra  $1400 \text{ kg/m}^3$  til  $2000 \text{ kg/m}^3$  og typisk styrker fra 15 MPa og op til 50 MPa.

Let konstruktionsbeton er dækket af Eurocodesystemet, idet Eurocode 2 indeholder et kapitel om letkonstruktionsbeton. I Danmark er det dækket af DS 411, Norm for betonkonstruktioner, idet der tidligere har været udarbejdet et DS/INF 103, Teknisk rapport vedrørende konstruktioner af letkonstruktionsbeton, der knyttede den lette konstruktionsbeton til DS 411. Netop nu er DS 411 Tillæg 1, Norm for konstruktioner af letbeton med lukket struktur udsendt til høring. Den indeholder nogle justeringer af DS 411, således at DS 411 med justeringerne kan anvendes for letkonstruktionsbeton.

Desværre indeholder DS 420 ikke nogen klar formulering af, at den begrænser sig til letklinkerbeton med åben struktur, dvs. der er uklarhed over hvilken norm, der er gældende for letkonstruktionsbeton med lukket struktur. Dansk Standard må opfordres til at få fjernet denne uklarhed, og det bør ske ved at behandle letkonstruktionsbeton som et tillæg til DS 411, således som det hidtil har været dansk praksis, og således som det gøres i Eurocodes.

Letkonstruktionsbeton er i øvrigt ikke indgået i projektet, da det ikke er så udbredt i Danmark.

## **Beregningsmetoder og partialkoefficienter**

Som nævnt er forskellige beregningsmetoder i de to normer vurderet. Det samme er de to normers partialkoefficienterne, idet der er foretaget beregninger ved hjælp af statistiske metoder (pålidelighedsteori), baseret på tilgængelige data. Der henvises til hovedrapport eller resumerapport for yderligere uddybning af disse forhold.

I sikkerhedsniveauet indgår andre ting, end de, der kan indregnes i partialkoefficienterne. Ting som f.eks. minimumsarmeringskrav forårsaget af ønske om en vis robusthed. Sådanne forhold er ikke behandlet under sikkerhedsniveauet, men er medtaget i en selvstændigt punkt om robusthed.

For at få et indtryk af udgangspunktet for sikkerhedsvurderingen gengives her partialkoefficienterne for normal sikkerhedsklasse og normal kontrolklasse.

### **Beton**

Beton til armeret beton:	$\gamma_c = 1,65$
Beton til uarmeret beton	$\gamma_c = 2,50$
Armering:	$\gamma_s = 1,30$

### **Letbeton**

Letbetons trykstyrke og E-modul:	$\gamma_c = 1,50$
Letbetons bøjningstrækstyrke:	$\gamma_c = 1,65$
Armering:	$\gamma_s = 1,30$

Der skelnes ikke mellem armeret og uarmeret letbeton.

## **Og hvad sker der så?**

Uafhængig af denne undersøgelse har Erhvervs- og Boligstyrelsen initieret et arbejde med en generel revision af bygningskonstruktioners sikkerhedsniveau. Det er et arbejde, der betyder, at partialkoefficienterne for alle konstruktionsmaterialer vurderes samlet med henblik på at opnå samme sikkerhedsniveau, uanset konstruktionsmateriale og samtidig med henblik på at nedsætte sikkerhed generelt. Det projekt, der er præsenteret her, vil naturligvis indgå i denne samlede indsats. Arbejdet forventes udsendt til høring omkring årsskiftet og de nye partialkoefficienter forventes i kraft fra 1. april 2005.

Med baggrund i den her præsenterede rapport har der været afholdt et fælles møde mellem repræsentanter for de involverede standardiseringsudvalg.

Her besluttedes det

- at ændre partialkoefficienten for trykstyrken i uarmerede betonelementer - processen er i gang
- letbetonnormen ændre en række ting, så som E-modul i søjleberegninger og anvendelse af mere duktilt armering, når det anvendes konstruktivt - et rettelsesblad er udarbejdet.
- en række uafklarede spørgsmål, så som anvendelse af trækstyrker og robusthed behandles i et fælles udvalg med repræsentanter for involverede normudvalg - udvalget er ved at blive formeret.