



**HÆFTE #8**

# **DIMENSIONERINGSPRINCIPPER FOR UARMEREDE VÆGELEMENTER**

For væg- og dækelementer i letbeton

## FORORD

Danmark har anvendt uarmerede letbetonvægge i bygningskonstruktioner i stigende grad igennem de sidste 50 år /1/. Danmark og det øvrige Norden har igennem 25 år /6/ normsat dimensioneringen af de uarmerede vægge og fastlagt regler for typeprøvning og løbende kontrol af elementproduktionerne /6,7/.

I forbindelse med udgivelsen af den danske letbetonnorm DS 420:2003 /22/ og vedtagelsen af den Europæiske produktstandard for præfabrikerede elementer af letbeton EN 1520:2002 /23/ har Letbetonelementgruppen under Betonelement-Foreningen, DI Byggeri iværksat en opsummering af erfaringerne med dimensioneringer af uarmerede vægelementer for at give et overblik over udviklingen af dimensioneringsreglerne, af dokumentationen og af sikkerheden.

Dette arbejde har resulteret i dette hæfte, der er udarbejdet af:

Lektor Per Goltermann  
BYG, DTU

Letbetonelementer anvendes til bærende og ikke-bærende vægge i enhver form for byggeri, til både småhuse og etagebyggeri, såvel som bolig-, institutions- som erhvervsbyggeri.

De forskellige informationer i hæftet er til orientering for ingeniører o.lign. i forbindelse med projektering af byggeri, hvor der anvendes helvægge af letbeton. Ansvar for den konkrete projektering ligger hos den projekterende. Betonelement-Foreningen, DI Byggeri og medlemsvirksomhederne påtager sig således ikke noget juridisk ansvar i forbindelse med denne anvisnings informationer. Hæftet kan således ikke danne grundlag for noget juridisk ansvar. Uddybende information kan indhentes ved henvendelse til producenter af letbetonelementer.

## UDGIVER

Hæfte 8 er udgivet af Letbetonelementgruppen under Betonelement-Foreningen, DI Byggeri.

01-2023

Kun designet og firmanavne på medlemsvirksomhederne og Betonelement-Foreningen er opdateret.

## MATERIALER I VÆG- OG DÆKELEMENTER AF LETBETON

Væg- og dækelementer af letbeton fremstilles af letklinker, cement og sand. Letklinker er små kugler af hårdtbrændt ler - lette og porøse med et utal af små luftfyldte celler.

Letklinkerne brændes ved 1100-1200°C, og resultatet bliver et kemisk neutralt produkt med stor styrke og god varmeisoleringssevne.

## LETBETONELEMENTGRUPPEN

Letbetonelementgruppen er en produktgruppe under Betonelement-Foreningen, DI Byggeri, hvor elementproducenter og materialeleverandører samarbejder i fælles interesse. Formålet er at udbygge og udnytte den bedste faglige viden om elementer af letbeton og stille denne ekspertise til rådighed for såvel projekterende som udførende.

Samarbejdet har gennem årene resulteret i forskellige hæfter vedr. bæreevne, stabilitet, lydisolering m.v. I dag er alle disse informationer tilgængelige på [www.danskindustri.dk/brancher/di-byggeri](http://www.danskindustri.dk/brancher/di-byggeri).

## INDHOLDSFORTEGNELSE

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1. Generelle oplysninger .....                 | 2  |
| 2. Dimensionering, udvikling og erfaring ..... | 3  |
| 3. Sikkerhed i dimensionering .....            | 8  |
| 4. Konklusion og fremtid .....                 | 13 |
| 5. Referencer .....                            | 14 |

## 2. DIMENSIONERING, UDVIKLING OG ERFARING

Dimensionering og kontrol foregår i dag efter regler, der er angivet i normer eller standarder, som dækker de design- og beregningsregler, som der er erfaring med. Der er for alle nye produkter, materialer eller design derfor en startperiode, hvor de ikke kan være dækket af normer eller standarder. Efter indførelsen af de første normer og standarder er der normalt en periode med erfaringsopbygning, som leder til mindre justeringer af de nye normer og standarder.

Dette afsnit vil give en kronologisk beskrivelse af udviklingen af dimensionerings- og kontrolregler, hvordan dimensioneringen og kontrollen foregik fra starten, og hvordan reglerne er blevet udviklet og justerede op igennem tiden.

### 2.1 1950'ERNE:

#### DE FØRSTE BYGGERIER MED LETBETONVÆGGE

I begyndelsen af 1950'erne begyndte man at anvende præfabrikerende letbetonelementer i den danske byggebranche, som det nævnes i Rambøll's lærebog fra 1955 om "Rationelt Byggeri" /1/. Disse elementer var helvægselementer med vindueshuller og dørhuller og var forberedt for de elektriske installationer.

Dimensioneringen var ikke normsat i starten, men har antageligt været udført ved en kombination af de daværende bygningsnormer og prøvninger.

### 2.2 1964:

#### BOLIGMINISTRIELLE GODKENDELSER AF UARME-REDE VÆGELEMENTER

I 1964 udstedte Boligministeriet et cirkulære af 18. september 1964 om godkendelse i henhold til bygningslovgivningen af materialer og konstruktioner m.v. /3/. Dette krævede, at Boligministeriet skulle udstede godkendelser til de individuelle fabrikker, for at disse kunne producere og anvende etagehøje, præfabrikerede letbetonelementer /3/ uden anden armering end transportarmeringen.

Disse godkendelser specificerede den maksimale bæreevne ( $R_{sd}$ ) som:

$$R_{sd} = f_{c,max} \cdot A = f_{c,max} \cdot b \cdot t$$

idet

$b$  er tværsnittets bredde

$f_{c,max}$  er den maksimalt tilladte trykstyrke, specificeret i godkendelsen

$t$  er tværsnittets tykkelse

Godkendelsen specificerer, at der skal gennemføres en indledende typeprøvning for at dokumentere produktionens kvalitet og vægelementernes bæreevner, og at der efterfølgende skal gennemføres en produktionskontrol, som bl.a. skal omfatte månedlige fuldskalaprøvninger og prøvninger af trykstyrken. Disse forsøg, kontrollen og vurderingen af resultaterne skal være underlagt en tredjepartskontrol, som skal være godkendt af godkendelsesudvalget.

Den Boligministerielle godkendelse angiver også Ritter-formlen til beregning af elementernes bæreevner:

$$R_{sd} = k_s \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

hvor

$$A_c = b \cdot (t - 2e)$$

$$k_s = \frac{1}{1 + 15 \cdot 10^{-4} \left( \frac{l}{1 - 2e} \right)^2}$$

idet

$b$  er tværsnittets bredde

$e_t$  er den lodrette lasts excentricitet

$f_{c,max}$  er den maksimalt tilladte trykstyrke, specificeret i godkendelsen

$l$  er elementets højde

$t$  er tværsnittets tykkelse

Godkendelsen gælder for elementer med tykkelser imellem 100 og 150 mm og elementhøjder på op til 2,8 m.

### 2.3 1971:

#### NORDISK OG DANSK NORMKOMITE FOR LETBETON

I 1971 nedsatte Nordisk Betongforbund en Normkomite til at opstille retningslinier for fælles eller ens nordiske normer for præfabrikerede lodrette, bærende vægelementer af letbeton /6/ og samtidig nedsatte Dansk Ingeniørforening en følgekomite og en normkomite /6/ til at arbejde med emnet. Formanden var O. Glarbo, som allerede i 1951 anbefalede brugen af Ritter-formlen til dimensionering af uarmerede betonvægge /2/, baseret på en række forsøg med uarmerede betonvægge.

En del af basismaterialet bag arbejdet med normerne stammede fra danske testresultater for letbetonvægge igennem 10 år, som blev præsenteret på et CEB/FIP-colloquie i København i 1971 /26/.

## 2.4 1975:

### NORDISKE RETNINGSLINIER

Nordisk betonforenings Normkomite udsendte de Nordiske retningslinier for normer for lodrette bærende elementer af letbeton i offentlig kritik i de fire lande i 1975 /6/.

## 2.5 1977:

### DS 420.2, UDGAVE 1

Denne norm DS 420.2:1977 /6/ er den første danske norm for letbetonelementer og er baseret på Nordiske retningslinier for normer for lodrette bærende elementer af letbeton. Retningslinier, norm og kommentarer /7/ er ifølge DS 420.2:1977 baseret på de danske erfaringer med prøvning af etagehøje elementer.

Normens tilhørende kommentarer /7/ angiver en beregning af den lodrette bæreevne ( $R_{sd}$ ) efter den såkaldte Ritter-formel:

$$R_{sd} = k_s \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

hvor

$$A_c = b \cdot (t - 2e_t)$$

$$k_s = \frac{1}{1 + 12 \cdot 10^{-4} \left( \frac{l_s}{t - 2e_t} \right)^2}$$

idet

- $b$  er tværsnittets bredde
- $e_t$  er den resulterende excentricitet af den lodrette last
- $f_{cd}$  er den regningsmæssige trykstyrke
- $l_s$  er den frie søjlelængde
- $t$  er tværsnittets tykkelse

Kommentarerne /7/ giver en beskrivelse af udledningen af Ritter-formlen og påpeger, at den er verificeret med forsøg. Formlerne svarer rimeligt til indholdet i den samtidige danske betonnorm DS 411:1973 /4,5/, bortset fra at DS 411 ikke reducerer tværsnittet i nævneren fra  $t$  til  $t - 2e_t$ .

Reduktionen af den effektive tværsnitstykkelse fra den fulde tykkelse  $t$  til den del af vægtykkelsen  $(t - 2e_t)$ , som ligger centralt placeret under belastningen, leder i mange tilfælde til en kraftig forøgelse af formlernes konservatisme.

I denne norm og dens kommentarer tillades tværlast fra vind optaget ved brug af bøjningstrækstyrken ved brug af Navier's formelsæt:

$$\sigma_{td} = - \frac{N_d}{b \cdot t} + \frac{6 \cdot N_d \cdot e_t}{b \cdot t^2} \leq f_{td}$$

$$\sigma_{cd} = + \frac{N_d}{b \cdot t} + \frac{6 \cdot N_d \cdot e_t}{b \cdot t^2} \leq f_{cd}$$

idet

- $e_t$  er den resulterende excentricitet af den lodrette og vandrette last
- $f_{td}$  er den regningsmæssige bøjningstrækstyrke
- $N_d$  er den lodrette last

Som alternativ til en bæreevneberegning tillader normen en dimensionering baseret på bæreevner, dokumenteret ved fuldskalaforsøg.

Materialeparametrene baseres derimod udelukkende på værdier, der dokumenteres ved løbende testning. Denne norm og dens kommentarer formulerede kravene om, at der skulle udføres en indledende typeprøvning af elementernes bæreevner og af de for anvendelse nødvendige parametre.

## 2.6 1987:

### DS 420.2, UDGAVE 1

Denne norm DS 420:1983 /8/ anvender samme Ritter-formel for beregning af bæreevnen ved lodret belastning som DS 420:1977. Normen tillader at bruge bøjningstrækstyrken til at optage alle vandrette belastninger og ikke kun vindlasten, men skærper Navierformlen til:

$$\sigma_{td} = - \frac{N_d}{b \cdot t} + \frac{6N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \cdot \frac{N_d \cdot e_t}{b \cdot t^2} \leq f_{td}$$

$$\sigma_{cd} = + \frac{N_d}{b \cdot t} + \frac{6N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \cdot \frac{N_d \cdot e_t}{b \cdot t^2} \leq f_{cd}$$

Ændringen betyder, at 2-ordens effekterne (dvs. udbøjningsbidrag til forøgelsen af det bøjende moments bidrag fra den lodrette last) tages i regning igennem den indførte faktor:

$$\frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d}$$

Denne estimering af faktoren for 2. ordens effekten er kendt fra elasticitetsteorien /9,10/, men ved at erstatte Euler-lasten med  $N_{cr}$  findes der en mere konservativ vurdering af effekten, idet  $N_{cr}$  er lavere end Euler-lasten og beregnes som:

$$N_{cr} = k_s \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

og

$$A_c = b \cdot (t - 2e_{cr})$$

$$k_s = \frac{1}{1 + 12 \cdot 10^{-4} \left( \frac{l_s}{t - 2e_{cr}} \right)^2}$$

idet  $e_{cr}$  er større end eller lig med  $l_s/500$ .

Materialeparametre dokumenteres uændret ved løbende testning.

## 2.7 1989:

### CEN/TC 177 STARTER EN 1520

I 1989 giver CEN et mandat til TC177 om udarbejdelse af harmoniserede produktstandards for præfabrikerede letbetonelementer af letbeton med porøse tilslag og åben struktur (EN 1520) eller af porebeton (EN 12602).

Produktstandardernes design og beregninger af elementerne eller af materialeparametrene skal baseres på Eurocode 2. Eurocode 2 dækker dog ikke de to betontyper og TC177 får derfor tilladelse til at opstille beregningsformler for elementer og materialer, blot disse er i overensstemmelse med principperne i Eurocode 2.

Eurocode 2 dækker dog letbeton med porøse tilslag og lukket struktur og TC177 beslutter derfor, at formler for letbeton med porøse tilslag og åben struktur skal svare til Eurocode 2's formler for letbeton med lukket struktur, medmindre letbetonen med åben struktur afviger markant fra Eurocode 2's betoner med lukket struktur.

TC177 får også mandat til at udarbejde de nødvendige teststandards til at dokumentere de deklarerede element- og materialeparametre.

Udstedelsen af mandatet medfører "standstill" for danske normer og standarder indenfor dette område. Dette betyder, at der ikke må indføres ændringer i DS 420 eller i de tilhørende danske teststandards, medmindre ændringerne af de danske normer og standarder går i retning af, hvad der er indarbejdet i EN 1520, EN 12602 og de tilknyttede teststandards.

Dette betyder at de danske producenter i 1992 og 1994 finansierer store dokumentationsprojekter for at opstille og dokumentere bl.a. formler for bæreevner af dækelementer og vægbjælker, samt formler for bøjningstrækstyrker og elasticitetsmoduler. Disse formler indarbejdes først i EN 1520 og derefter i DS 420, for således at respektere CEN's regler og samtidig forbedre dimensioneringen.

I samme periode indsamles og opstilles en række forsøgsresultater fra fuldskalaforsøg med letbetonelementer for at dokumentere brugen af de danske dimensioneringsregler. Dokumentationen publiceres i Nordic Concrete Research i 1995 /27/.

## 2.8 1992:

### DÆKPRODUCENTERNES PRÆSTANDARDISERINGSPROJEKT

I 1992 starter de danske producenter af letbetondækelementer (Dansk Leca, H+H og Fibo) en undersøgelse for at etablere og dokumentere beregningsregler for dækelementer, men også for at opstille en dokumentation for beregningsformler for bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul som funktion af trykstyrke og densitet.

Projektet udførtes af G. M. Idorn Consult-RAMBØLL, DTU og Ingholt Consult i samarbejde og involverede fuldskaletestning af ca. 100 dækelementer og prøveudtagning fra andre ca. 100 elementer. Der blev derudover indhentet testdata fra ca. 135 vægelementer for at udbygge dokumentationen for materialerelationerne /11,12/.

Resultaterne, som publiceres i Nordisk Concrete Research /13/, viser, at beregningsreglerne for materialerne er meget konservative for densiteter under 1400 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.9 1993:

### DS 420, TILLÆG 1

I 1993 indføres DS 420, tillæg 1 for kombinationsvægge /15/, som præciserer, at et sættes til mindst 15 mm og  $e_{cr}$  sættes til afvigelsen fra plan form ( $e_g$ ), dvs. til mindst 5 mm.

## 2.10 1994:

### BIH-UDREDNINGSPROJEKT VEDRØRENDE DS 420

I 1994 starter BIH en undersøgelse for at etablere og dokumentere beregningsregler for integrerede, armerede vinduesoverligger, da DS 420 mangler en beregningsformel for armerede bjælker. Der testes også trykstyrker, densiteter, bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul for at udvikle og dokumentere beregningsformler for bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul som funktion af trykstyrke og densitet.

Projektet udføres af G. M. Idorn Consult-RAMBØLL, DTU og Ingholt Consult i samarbejde og involverer fuldskalaletestning af ca. 220 væg bjælker og produktion af andre 220 væg bjælker til prøveudtagning (hvor der fra hver bjælke udtages 3 emner til trykstyrkeprøvning, 3 til bøjningstrækstyrkeprøvning og 3 til prøvning af elasticitetsmodul). Denne dokumentation blev suppleret med dokumentationen fra præstandardiseringsprojektet og var derfor baseret på i alt ca. 4000 forsøg fra 450 danske dæk- og vægelementer samt fra en del data fra litteraturen.

Der etableredes realistiske, men konservative formler for beregning af bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul /16,17/. En del af dokumentationen blev publiceret på kongresser i 1997 og 2000 /18,19/ og viser at beregningsreglerne for materialerne er konservative for alle densiteter i området fra 550 kg/m<sup>3</sup> og op til 2000 kg/m<sup>3</sup>, men at beregningsreglerne er meget konservative for densiteter under 1400 kg/m<sup>3</sup>. Der anbefales en korrektion af beregningsreglerne for densiteter under 1400 kg/m<sup>3</sup>, således at reglerne fortsat er konservative, men giver rimelige resultater.

En beskrivelse af dokumentationen og anbefalingerne til korrektion af beregningsreglerne blev udleveret til CEN/TC177/WG2 /20/, som derefter indarbejdede de anbefalede rettelser i EN 1520:2002.

## 2.11 1998: DS 420, TILLÆG 3

I 1998 indføres DS 420, tillæg 3 /21/ som angiver formler for beregning af bøjningstrykstyrken ( $f_{bk}$ ) og elasticitetsmodulet ( $E$ ) som alternativ til at fastlægge parametrene vha. testning.

Den karakteristiske bøjningstrækstyrke ( $f_{bk}$ ) beregnes som:

$$f_{bk} = 0.42 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot \eta_1$$

hvor koefficienten  $\eta_1$  fastlægges af den danske normkomite for letbetonkonstruktioner som:

$$\eta_1 = 0.9 \quad \text{for } \rho > 1100 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_1 = 0.45 + 0.45 \cdot (\rho/1100) \quad \text{for } \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$$

Denne fastlæggelse af  $\eta_1$  afviger fra fastlæggelsen i EN 1520. Dette skyldes, at formlerne i EN 1520 skal konvergere mod tilsvarende formler i Eurocode 2's annex for let konstruktionsbeton, hvorimod Danmark kan vælge at anvende en anden fastlæggelse, som svarer bedre til de danske letbetoner.

Den nedre værdi af elasticitetsmodulet ( $E_{ck}$ ) beregnes som:

$$E_{ck} = 9500 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \eta_2$$

og middelværdien af elasticitetsmodulet ( $E_{cm}$ ) beregnes som:

$$E_{cm} = 10000 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \eta_2$$

Koefficienten  $\eta_2$  beregnes som:

$$\eta_2 = (\rho_g / 2200)^2 \quad \text{for } \rho > 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_2 = (14 / 22) \cdot (\rho / 2200)^2 \quad \text{for } \rho \leq 1400 \text{ kg/m}^3$$

Der er her benyttet betegnelserne:

$f_{ck}$  er den karakteristiske trykstyrke  
 $\rho$  er middeldensiteten

## 2.12 2002: EN 1520

I 1995 blev prEN 1520 udsendt til høring i alle CEN-landene og de indkomne kommentarer vurderedes i de næste år. I denne periode blev der indført en del tekniske og formelle ændringer.

Formlerne i EN 1520 for lodret belastede elementer og for lodret og vandret belastede elementer, svarer til de danske regler fra DS 420:1983 og DS 420:2003. Den eneste forskel er, at der i Ritter-formlen anvendes det estimerede eller deklarerede middelelasticitetsmodul, som i den danske Ritter-formel er sat til 1000 gange trykstyrken.

Formlerne for elasticitetsmodulet svarer til DS 420, tillæg 3:1997, mens formlerne for bøjningstrækstyrken afviger lidt.

Da letbeton med åben struktur ikke er dækket af Eurocode, men skal baseres på samme principper som CEN/TC177 officielt CEN/TC250 (ansvarlig for alle Eurocodes) om at vurdere designannexerne i EN 1520. Vurderingen /24/ bekræftede at EN 1520 var baseret på de korrekte principper, og at de få afvigelser skyldtes, at letbeton med åben struktur i de lavere densiteter afviger fra let konstruktionsbeton. Denne vurdering blev igen bekræftet i december 2002 med et møde med CEN's konsulenter og eksperter fra TC250 /25/.

## 2.13 2003:

### DS 420, UDGAVE 3

Beregningen af de uarmerede vægges bæreevner overfor lodret last (Ritter) er i DS 420:2003 /22/ identiske fra DS 420:1977. Beregningen af de uarmerede vægges bæreevner overfor lodret og vandret last (modificeret Navier) er identiske med det, der stod i den tidligere version af DS 420:1983. Begge formelsæt (Ritter og modificeret Navier) er identisk med de, der står i den Europæiske produktstandard EN 1520 /23/.

De anvendte excentriciteter ( $e_t$  og  $e_{\alpha}$ ) er uændrede i forhold til DS 420, tillæg 1:1993, hvorimod EN 1520 ikke præciserer disse to excentriciteter i samme grad. Dette skyldes, at EN 1520 udelukkende dækker elementerne og ikke den færdige elementkonstruktion.

Beregningsformlerne for materialeparametrene er uændrede i forhold til DS 420, tillæg 3:1998.

Kravene til den indledende typeprøvning og til den løbende kontrol er blevet gjort mere detaljerede og svarer detaljeret til reglerne i EN 1520. Der er også angivet statistiske regler for vurdering af de indledende typeprøvningsresultater ved bestemmelse af bæreevner og materialeparametre vha. formler. Trediepartskontrollens rolle er uændret.

## 2.14 2004:

### SIKKERHEDSKALIBRERING AF EN 1520 OG DS 420

I forbindelse med implementeringen af DS/EN 1520:2004 engagerede Dansk Standard Aalborg Universitet og Rambøll til at foretage en kalibrering af sikkerhedsniveauet for alle de præfabrikerede elementer. Vurderingen /28/ viste, at elementerne levede op til det krævede sikkerhedsniveau og at specielt de uarmerede vægge havde et sikkerhedsniveau, der væsentligt oversteg det krævede niveau. Partialkoefficienterne kunne derfor sænkes. For at forenkle implementeringen af EN 1520 blev det dog besluttet at fastholde de partialkoefficienter, som var benyttet i DS 420.

## 2.15 2004:

### BIH-VÆGPROJEKT, FASE 1. FÆLLES TYPEPRØVNING I LETBETONBRANCHEN

I forbindelse med indførelsen af EN 1520 besluttede vægproducenter i BIH at gennemføre en fornyet vurdering af deres præfabrikerede vægge. Dette skete på basis af nyere typeprøvningsresultater og fornyede typeprøvninger for eksperimentelt at verificere, at væggenes faktiske bæreevner oversteg de estimerede bæreevner. BIH engagerede i denne forbindelse Rambøll /29/ til at vurdere beregningsformlernes sikkerhed ved sammenligning med typeprøvningsresultaterne. Denne undersøgelse verificerede, at

væglementernes sikkerhed ved lodret, excentrisk belastning væsentligt oversteg det krævede niveau og anbefalede, at der gennemførtes en række forsøg med både lodret og vandret belastning på elementerne.

## 2.16 2005:

### NYE PARTIALKOEFFICIENTER TIL ALLE DANSKE KONSTRUKTIONSNORMER

Dansk Standard koordinerende organ for alle konstruktionsnormerne, 3K-forum, besluttede allerede i 2004 at der skulle foretages en revision af last- og sikkerhedsnormerne DS 409 og DS 410. Disse normer skulle baseres på sikkerhedssystemet fra Eurocodes for at sikre, at alle de implementerede produktstandarde og Eurocodes kunne leve op til det danske sikkerhedsniveau, selvom disse standarder og Eurocodes ville blive implementeret over en længere årrække.

I denne forbindelse pålagde Dansk Standard samtlige normudvalg at dokumentere deres sikkerhedsniveau. Denne dokumentation blev derfor etableret af DS/S282 "Normudvalg for letbetonkonstruktioner" og diskuteret og godkendt af repræsentanterne for DS/S364 "Normudvalg for last og sikkerhed". Samtlige normudvalgs fastlæggelse af partialkoefficienter blev efterfølgende diskuteret og godkendt i 3K-forum, således at alle materialekoefficienter kunne fastlægges på konsistent vis.

Dette resulterede i reduktioner af adskillige partialkoefficienter for letbetonkonstruktioner og elementer, som angivet i det fælles normtillæg for DS 411, DS 412, DS 413, DS 414, DS 415, DS 419 og DS 420 /30/.

## 2.17 2006-7:

### BIH-VÆGPROJEKT, FASE 2. BÆREEVNE AF VÆGGE MED LODRET OG VANDRET LAST

I perioden 2006-2007 blev der gennemført en række forsøg med uarmerede vægelementer udsat for kombineret lodret og vandret belastning på EXPAN A/S's laboratorium /31/. Der blev uafghængigt af disse også gennemført en række fuldskalaforståelser i forbindelse med et civilingeniørksamensprojekt på Danmarks Tekniske Universitet /32/. Disse undersøgelser verificerede, at også beregningsreglerne for lodret og vandret belastede elementer var konservative, og at der bør udvikles nye beregningsmodeller for bæreevnerne.

Nye formler blev verificeret, men er endnu ikke implementeret i den Europæiske standard EN 1520.

### 3. SIKKERHED I DIMENSIONERINGEN

Dimensioneringens sikkerhed sikres i dagens byggeri igen gennem følgende 5 hovedpunkter:

1.

Der anvendes konservative formler for elementernes bæreevner, hvori der anvendes karakteristiske materialeparametre, som påføres partialkoefficienter.

2.

De karakteristiske materialeparametre dokumenteres ved løbende kontrol af parametrene. Visse af materialeparametrene kan alternativt bestemmes med konservative materialem-formler ud fra kontrollerede parametre.

3.

Det nødvendige sikkerhedsniveau opnås vha. karakteristiske parametre og partialkoefficienternes størrelser. De karakteristiske værdier fastlægges efter reglerne i DS 409:1998, ligesom de hidtidige partialkoefficienterne i DS 420:2003 er fastlagt efter reglerne i DS 409:1998. De fremtidige partialkoefficienter fastlægges efter reglerne i DS 409:2006, der bygger på det Europæiske sikkerhedssystem, som bruges i Eurocodes.

4.

Der udføres en indledende typeprøvning, som sikrer at elementer og materialer lever op til hvad der forventes i normen. Deklareres karakteristiske værdier, baseres disse

på den indledende typeprøvning, som så kontrolleres ved den løbende kontrol. Bestemmes bæreevner eller parametre ved beregning, skal typeprøvningen dokumentere, at de testede bæreevner og parametre overstiger de værdier, der kan beregnes iflg. normen.

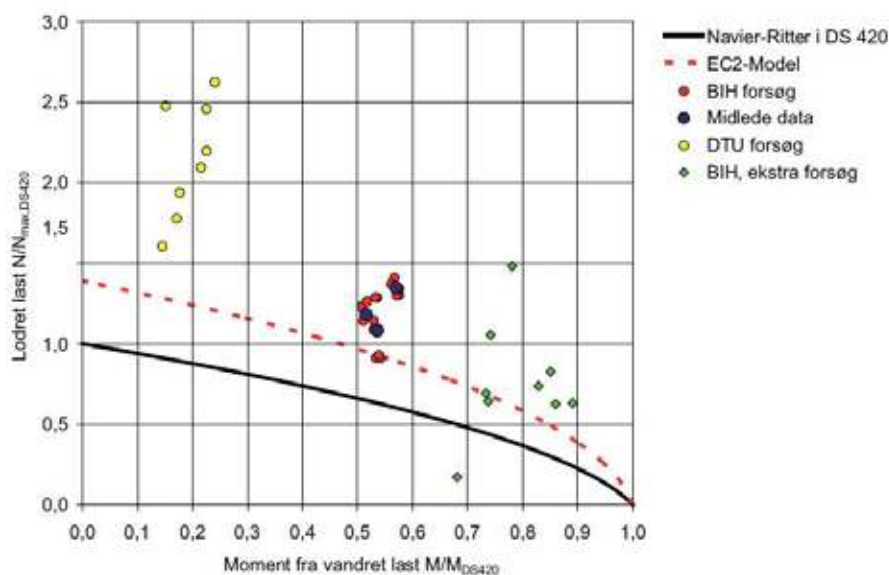
5.

Kontrollen er underlagt en uafhængig tredjepartskontrol, som vurderer kontrolplaner, typeprøvningsresultater og de løbende prøvningsresultater.

Vedrørende punkt 1 til 3: I det efterfølgende gennemgås formlernes konservatisme, kontrolreglerne og partialkoefficienternes opbygning.

Vedrørende punkt 4 og 5: De nuværende krav til den indledende typeprøvning, den indledende vurdering, den løbende kontrol og tredjepartskontrollen svarer i store træk til de principper, der blev fastlagt i de Boligministerielle godkendelser /3/ iflg. Boligministeriets cirkulære fra 1964, selvom de detaljerede kontrolregler er blevet opdaterede igennem årene.

I DS 420:2003 er det muligt at estimere bæreevnen af en væg med lodret belastning efter Ritter-formlen. Denne formel er konservativ /27,34/ og konservatismen stiger meget kraftigt ved voksende excentriciteter, som det ses på Figur 1.



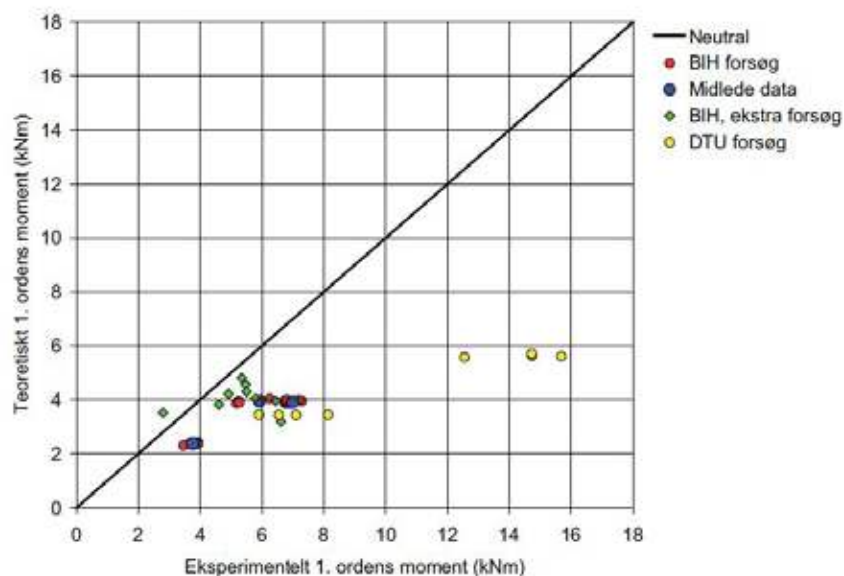
Figur 1. Forhold imellem estimeret bæreevne efter DS 420:2003 og eksperimentel bæreevne som funktion af excentriciteten / tykkelsen.

I DS 420:2003 er det muligt at bestemme bæreevnen af en væg med både lodret og vandret belastning ud fra den modificerede Navier-formel, idet bøjningstrækstyrken tages i regning. Ved ren lodret last tillades bøjningstrækstyrken ikke taget i regning. Denne bæreevneestimering er generelt set konservativ /27,34/, som det ses på Figur 2.

Sammenligningerne i Figur 1 og Figur 2 er baserede på de data, som blev brugt i 2007-sammenligningen /31/, og der er således anvendt resultater fra enkeltforsøg, hvor der er brugt aktuelle excentriciteter for lasten og for afvigelser fra planhed samt aktuelle bøjningstrækstyrker, trykstyrker og elasticitetsmoduler.

Iflg. reglerne i DS/EN 1520:2004, DS 420:2003, DS 420:1983 og DS 420:1977 skal der desuden gennemføres en indledende typeprøvning inden en ny elementtype eller produktion kan markedsføres. Denne typeprøvning skal dokumentere, at væggene lever op til, hvad der kan forventes og specielt at bæreevnen lever op til, hvad der kan beregnes.

Det er dog muligt at køre løbende kontrol på bæreevnen og deklarerer væggenes karakteristiske bæreevner på basis af fuldskalaprøvningen. Denne mulighed er særdeles dyr og benyttes i dag ikke af danske producenter.



Figur 1. Forhold imellem estimeret bæreevne efter DS 420 (Navier med bøjningstrækstyrke) og eksperimentel bæreevne.

### 3.1 MATERIALERELATIONER OG DERES KONSERVATISME

I forbindelse med de store danske undersøgelser i 1990'erne /11,12,13,16,17/, blev der udført en lang række forsøg, som dækker den danske letbetonproduktion og som vil blive brugt i det efterfølgende til at kontrollere konservatismen. Hvert punkt på Figur 3 til 6 er således baseret på middelværdien af tre forsøgsværdier, og på figurene angiver trekanten let konstruktionsbeton fra litteraturen og ruder angiver de danske letbetoner.

I bæreevneberegningerne vha. Ritter-formlen er det således forudsat, at elasticitetsmodul er af størrelses-ordenen 1000 gange trykstyrken. Figur 3 viser de målte elasticitetsmoduler og tilhørende trykstyrker, hvor linien angiver et elasticitetsmodul på 1000 gange trykstyrken. Figur 3 viser, at dette er en rimelig antagelse for letbetonen i gennemsnit, men der er dog en stor spredning.

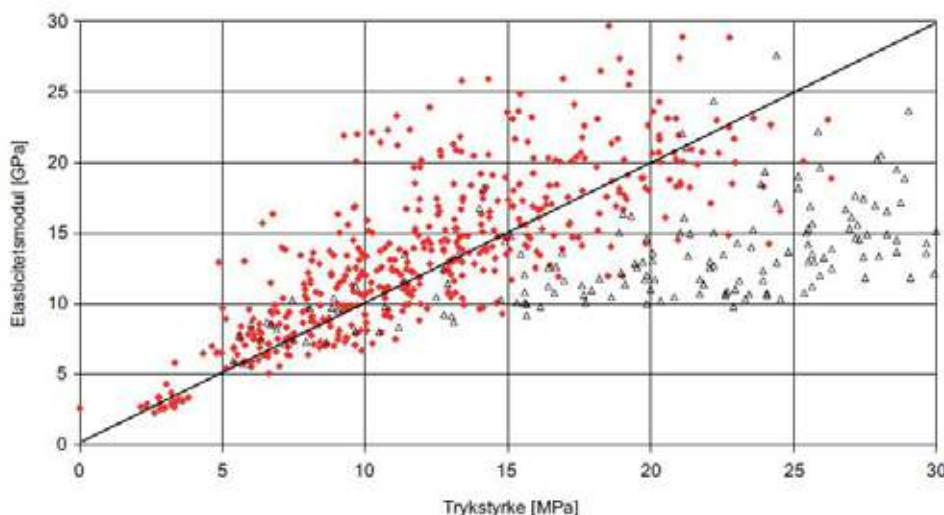
Figur 3 viser dog også en del punkter under linien svarende til, at de målte elasticitetsmoduler har været under de estimerede elasticitetsmoduler på 1000 gange trykstyrken. Dette er en grund til, at der er indført mere detaljerede formler for elasticitetsmodul i DS 420:2003 og EN 1520:2002,

som giver en langt bedre og mere konservativ estimering af elasticitetsmodul  $/20/$ , sådan som det ses på Figur 4. På figuren er det estimerede elasticitetsmodul sammenlignet med det målte elasticitetsmodul og alle punkter under linien svarer her til et estimeret elasticitetsmodul, der ligger under det målte.

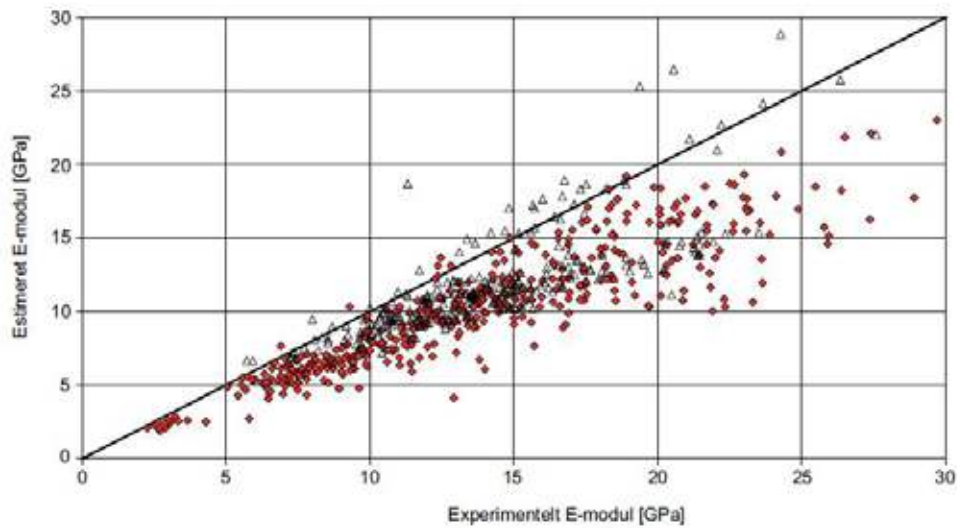
Bøjningstrækstyrken kan også estimeres efter formlerne i DS 420. Disse formler er konservative  $/20/$ , sådan som det kan ses på Figur 5, hvor estimerede og målte bøjningstrækstyrker er afbilledet på samme måde som elasticitetsmodul i figur 4.

Iflg. reglerne i DS 420:2003, DS 420:1983 og DS 420:1977 skal der desuden gennemføres en indledende typeprøvning for bl.a. at fastlægge værdien af de to parametre. I DS 420:2003 kan de to parametre herefter beregnes blot der ved den indledende typeprøvning vises, at materialet lever op til det forventede niveau, dvs. at bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul ligger over de værdier, der kan beregnes.

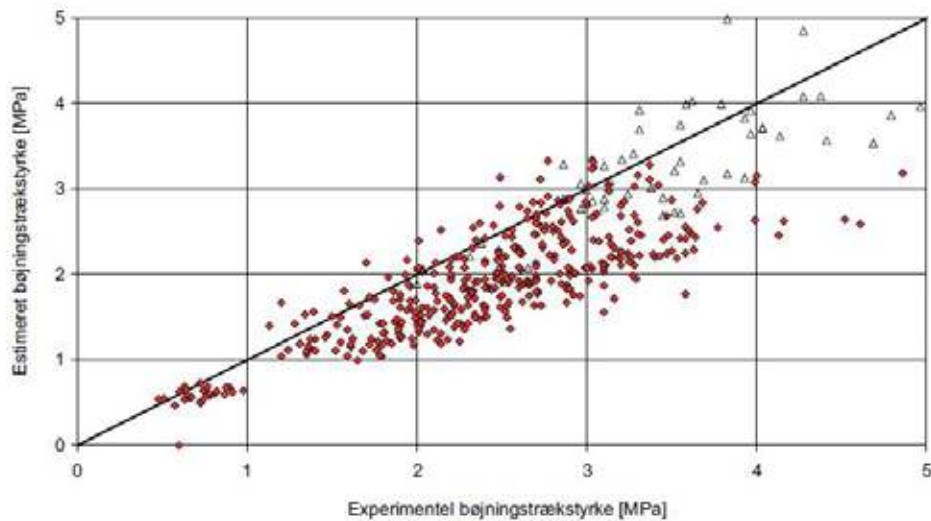
Det er dog stadig muligt at køre løbende kontrol på parametrene og deklare karakteristiske værdier på basis af prøvningsresultaterne.



Figur 3. Eksperimentelle værdier af elasticitetsmodul versus eksperimentelle trykstyrker



Figur 4. Estimeret elasticitetsmodul iflg. DS 420:2003 versus eksperimentel værdi af elasticitetsmodulet.



Figur 5. Estimeret bøjningstrækstyrke iflg. DS 420:2003 versus eksperimentel værdi af bøjningstrækstyrken.

## 3.2 KONTROLREGLER

Produktstandarden EN 1520 kræver, at alle letbetonprodukter skal gennemgå en indledende typeprøvning inden de anvendes i byggeriet. Denne indledende typeprøvning skal verificere, at produktet lever op til det, der kan forventes efter normen og deklARATIONERNE. Typeprøvningen skal altid omfatte bæreevne og basale materialeparametre og vurderes af trediepartskontrollen.

De fleste parametre og bæreevnerne bestemmes vha. formlerne i DS 420:2003, men det skal dokumenteres igennem typeprøvningen at produktet lever op til det forventede, dvs. at bæreevner, bøjningstrækstyrker og elasticitetsmoduler overstiger det, der kan beregnes.

Deklarationer kan alternativt baseres på løbende prøvning, hvor karakteristiske værdier deklarerer på basis af prøvning. Denne prøvning og deklARATIONERNE overvåges af den godkendte trediepartskontrol.

De mest basale parametre (fx. trykstyrke, densitet, geometriske tolerancer) skal dog altid kontrolleres løbende, så karakteristiske værdier kan deklarerer.

Godkendelsen af trediepartskontrollen udføres af DA-NAK og omfatter også en vurdering af kontrolreglerne. Herved sikres konsistens imellem det kontrolomfang, der kræves af de forskellige trediepartskontroller.

## 3.3 PARTIALKOEFFICIENTER

Partialkoefficienterne på bæreevner, materialeparametre og belastninger sikrer tilsammen det nødvendige og krævede sikkerhedsniveau og har varieret igennem de 50 år, hvor helvægselementerne er blevet anvendt.

De nye partialkoefficienter på materialeparametrene er i Kapitel 5-tillæg:2006, til konstruktionsnormerne: DS 411, DS 412, DS 413, DS 414, DS 415, DS 419 og DS 420", Dansk Standard, Juni 2006 fastlagt iflg. reglerne som:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \gamma_m \cdot \gamma_3$$

hvor

- $\gamma_0$  afhænger af sikkerhedsklassen
- $\gamma_m$  afhænger af sikkerheden, variationskoefficienten samt bruddet
- $\gamma_3$  afhænger af kontrolklassen

Delkoefficienterne for de uarmerede vægelementer angives derfor til:

| Parameter                                     | $\gamma_m$ | Brud                     |
|-----------------------------------------------|------------|--------------------------|
| Trykstyrke og elasticitets-modul              | 1,55       | Varslet brud uden bæreev |
| Bøjningstrækstyrk                             | 1,70       | Uvarslet brud            |
| Elementbæreevnen (bestemt ved fuldska-forsøg) | 1,40       | Uvarslet brud            |

## 4. KONKLUSIONER OG FREMTID

De danske dimensioneringsregler for uarmerede vægelementer har basis langt tilbage i tiden og undersøgelserne har vist, at reglerne er konservative. Konservatismen sikres igennem konservative formler, en indledende typeprøvning og en løbende kontrol overvåget af en godkendt dansk tredjepartskontrol.

I fremtiden vil den Europæiske produktstandard EN 1520 blive indført i Danmark og resten af CEN-landene (Østrig, Belgien, Tjekkiet, Finland, Frankrig, Tyskland, Grækenland, Island, Irland, Italien, Luxemburg, Malta, Holland, Norge, Portugal, Spanien, Sverige, Svejts, Storbritannien). Denne standard anvender de samme dimensioneringsregler med enkelte mindre afvigelser (anden formel for bøjningstrækstyrke og en Ritter-formel, hvor elasticitetsmodulet indgår). Kontrolregler, indledende typeprøvning og omfang af den løbende prøvning svarer til den nuværende DS 420:2003.

Dimensioneringen skal altid være konservativ, hvilket sikres igennem konservative formler, brug af karakteristiske parametre og partialkoefficienter. Der vil dog i praksis ofte blive skabt en ekstra konservatisme, da de fleste producenter vil vælge at dimensionere vægelementerne vha.:

1.  
Konservative formler
2.  
Konservativt fastsatte excentriciteter (afvigelser fra planhed og lastexcentricitet)
3.  
Materialeparametre (bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul), der estimeres med konservative formler ud fra densitet og karakteristisk trykstyrke.

Disse tre trin vil alle bidrage til dimensioneringens konservatisme udover den krævede konservatisme. Denne ekstra konservatisme kan kun undgås ved forbedrede formler eller en deklaration af de karakteristiske vægbæreevner, som baseres på en løbende fuldskalaprovning af væggenes bæreevner.

# 5. REFERENCER

1. Rambøll, B.J.: "Rationelt Byggeri", Teknisk Forlag, 1955.
2. Glarbo, O.: "Uarmerede betonvægges bæreevne", Ingeniøren, Nr.25, 1951
3. Henningsen, H.M.: "Boligministeriel godkendelse af etagehøje elementer af letklinkerbeton med transportarmering", 1 september 1971.
4. DS 411:1973 "Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner", 2.udgave, december 1973.
5. DS 411-vejledning:1973 "Vejledning til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner", udgave, december 1973.
6. DS 420.2:1977 "Dansk Ingeniørforenings norm for letbeton, bærende vægelementer", 1. udgave, juli 1977.
7. NA 15.3:1977 "Kommentarer til Dansk Ingeniørforenings norm for letbeton bærende vægelementer", september 1977.
8. DS 420:1983 "Dansk Ingeniørforenings norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer", 2. udgave, oktober 1983.
9. Poulsen, E. og Risager, S.: "The bearing capacity of linear elastic brittle columns", Bygningsstatistiske meddelelser, Nr. 3, 1995.
10. Teknisk Ståbi, 15. udgave, Teknisk Forlag, 1986.
11. Goltermann, P.; Larsen, H. og Ingholt, N.U.: "Letbetonbranchens præstandardisering. Dækkelementer. Estimering af elasticitetsmodulet", G. M. Idorn Consult A/S; Institutet for Husbygning, DTU og Ingholt Consult Aps, april 1994.
12. Goltermann, P.; Larsen, H. og Ingholt, N.U.: "Letbetonbranchens præstandardisering. Dæk elementer. Estimering af bøjningstrækstyrken", G. M. Idorn Consult A/S; Institutet for Husbygning, DTU og Ingholt Consult Aps, april 1994.
13. Goltermann, P., Larsen, H. and Ingholt, N.U.: "Strength and Stiffness Relations in Lightweight Aggregate Concrete with Open Structure", Nordic Concrete Research, pp.35-46, No.15, 1994.
14. DS 420, tillæg 2: 1997 "Tillæg og rettelser til norm for letbetonkonstruktioner, dimensionering af bjælkeelementer", April 1997.
15. DS 420, tillæg 1:1993 "Beregning af kombinationsvægge", september 1993.
16. Goltermann, P.; Larsen, H. og Ingholt, N.U.: "Udredningsarbejde vedr. DS420. Materialeformler og bjælkeformler. Letklinkerbeton. Estimering af elasticitetsmodulet", G. M. Idorn Consult A/S; Institutet for Husbygning, DTU og Ingholt Consult Aps, februar 1996.
17. Goltermann, P.; Larsen, H. og Ingholt, N.U.: "Udredningsarbejde vedr. DS 420. Materialeformler og bjælkeformler. Letklinkerbeton. Estimering af bøjningstrækstyrken", G. M. Idorn Consult A/S; Institutet for Husbygning, DTU og Ingholt Consult Aps, februar 1996.
18. Goltermann, P. and Karl, S.: "Intended EN 1520 Prefabricated reinforced components of light weight aggregate concrete with open structure", pp.61-70, Proceedings from the International symposium on "European concrete standards in practice", 22-24 May 1997, Copenhagen, Denmark.
19. Goltermann, P.: "Prefabricated floor slabs in rollercompacted lightweight aggregate concrete", pp.531-539, Proc. 2nd International Symposium on Structural Lightweight Concrete, 18-20 juni, 2000, Norway.
20. Goltermann, P.: "Suggested revisions of material formulas in prEN 1520", CEN/TC177/WG2-Doc.115, Oktober 1995.
21. DS 420, tillæg 3:1998 "Dimensionering af bjælkelementer", marts 1998.
22. DS 420:2003 "Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer", 3. udgave, Dansk Standard, januar 2003.
23. EN 1520:2002 "Prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure", vedtaget ved den formelle afstemning i CEN juli-september 2002.
24. Litzner, H.U.: Erklæring angående "Design rules of Final Draft prEN 1520 "Prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure" (October 2000)", dateret 22 februar 2001.
25. Fichtner, N.: Mødereferat: "Report of the meeting on the application of EN 1520:2002 "Prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure", held in Berlin on 17th December 2002", CEN/TC177/Doc. No. 0218
26. Olesen, S.Ø.: "Strength of lightweight concrete wall panels", CEB/FIP-Research Colloquium on Lightweight Concrete, København, maj 1971.
27. Goltermann, P.: "Lightweight Concrete Walls and Columns: Determining the Load-carrying Capacity", Nordic Concrete Research, pp.10-26, No.16, 1995.
28. Dalsgaard Sørensen, J. og Goltermann, P.: "Calibration of partial safety factors for EN 1520", Dansk Standard, August 2004.
29. Goltermann, P.: "Vurdering af uarmerede vægges bæreevne. Fase 1. Lodret belastede vægge", Rambøll December 2004.
30. Kapitel 5-tillæg:2006, til konstruktionsnormerne: DS 411, DS 412, DS 413, DS 414, DS 415, DS 419 og DS 420", Dansk Standard, Juni 2006.
31. Goltermann, P.: "Vurdering af uarmerede vægges bæreevne. Lodret og vandret belastede vægge", Juli 2007.
32. Jónsson, J.K. og Thorsteinsson, I.: "Loadbearing walls of lightweight aggregate concrete with combined axial and transverse loading", Master of Science Thesis, BYG•DTU, August 2006.

# FÅ RÅD OG VEJLEDNING



Mange byggeprojekter kan med fordel realiseres med elementer af letbeton. Kontakt derfor en af producenterne for råd og vejledning på et tidligt stadie i projektet, så du får den bedste løsning til dit byggeri.

## SEKRETARIAT

Betonelement-Foreningen, DI Byggeri  
Letbetonelementgruppen  
H. C. Andersens Blvd. 18  
1553 København V  
Telefon: 3377 3377  
betonelementforeningen@di.dk  
www.danskindustri.dk/brancher/di-byggeri

## ELEMENTPRODUCENTER

EXPAN  
Ribevej 45  
6650 Brørup  
Telefon: 7637 7000  
post@expan.dk  
www.expan.dk

EXPAN  
Purhusvej 6, Linå  
8600 Silkeborg  
Telefon: 7637 7000  
post@expan.dk  
www.expan.dk

EXPAN  
Bækgårdsvej 74  
4140 Borup  
Telefon: 7637 7000  
post@expan.dk  
www.expan.dk

EXPAN  
Shavevej 23  
5471 Søndersø  
Telefon: 7637 7000  
post@expan.dk  
www.expan.dk

Heidelberg Materials Precast Denmark A/S  
Mads Clausensvej 58  
6360 Tinglev  
Telefon: 7217 1000  
info@heidelbergmaterials.dk  
www.precast.heidelbergmaterials.dk

Gandrup Element A/S  
Teglværksvej 35  
9362 Gandrup  
Telefon: 9654 3800  
ge@gandrupelement.dk  
www.gandrupelement.dk

Leth Beton A/S  
Rishøjvej 26  
7755 Bedsted Thy  
Telefon: 9794 5511  
post@lethbeton.dk  
www.lethbeton.dk

thomas praefab Østervrå A/S  
Høngårdsvej 30  
9750 Øster Vrå  
Telefon: 9895 1300  
praefa@praefa.dk  
www.thomas-gruppe.dk

Niss Sørensen & Søn A/S  
Drosselvej 9, Balling  
7860 Spøttrup  
Telefon: 9756 4222  
nes@nssas.dk  
www.nssas.dk

## SAMARBEJDSPARTNERE

Aalborg Portland  
Rørdalsvej 44, Postboks 165  
9100 Aalborg  
Telefon: 9816 7777  
sales@aalborg-portland.dk  
www.aalborg-portland.dk



Scan og besøg vores site

Letbetonelementgruppen under Betonelement-Foreningen, DI Byggeri  
H.C. Andersens Blvd. 18, 1553 København V

Tlf. 3377 3377

[betonelementforeningen@di.dk](mailto:betonelementforeningen@di.dk)

[www.danskindustri.dk/medlemsforeninger/foreningssites/dansk-beton/betonelement-foreningen](http://www.danskindustri.dk/medlemsforeninger/foreningssites/dansk-beton/betonelement-foreningen)