

9 D E C E M B E R 2 0 0 4

DANSK BETONINDUSTRI FORENINGS ELEMENTFRAKTION - BIH

Vurdering af uarmerede vægges bæreevne.
Fase 1. Lodret belastede vægge

Dansk Beton Industriforening's Elementfraktion, BIH

Vurdering af uarmerede vægges bæreevne.
Fase 1. Lodret belastede vægge

Sag 4721069
J.nr. 4721069R_001a
Udg. A
Dato 9 December 2004

Udarb. PEG
Kontrol LKC
Godk. PEG

Indholdsfortegnelse

1.	Introduktion	1
2.	Dimensionering af uarmerede vægge	2
2.1	Ritter formlen for en uarmeret, excentrisk belastet væg (DS 420).	2
2.2	Baggrund for Ritter-formlen.	3
3.	Arbejdskurver og elasticitetsmodul	5
3.1	Bestemmelse af arbejdskurver	5
3.2	Bestemmelse af middelelasticitetsmodulet	7
3.2.1	Testning af materialeparametre	8
3.2.2	Beregning af elasticitetsmodulet	9
4.	Alternative beregningsformler	10
4.1	Ekcentrisk belastet væg iflg. Eurocode 2, afsnit 12.6.1	10
4.2	Ekcentrisk belastet væg med Eurocode arbejdskurve	11
4.3	Urevnede tværsnit i trykzonen taget i regning	12
5.	Kontrol af uarmerede vægge	13
5.1	Testmetoder ved fuldskalaprøvning	13
5.2	Data fra litteraturen og ældre typeprøvningsresultater	13
5.3	Nye typeprøvninger	14
6.	Sammenligninger	15
7.	Konklusioner	18
8.	Testprogram til fase 2	19
9.	Referencer	21
	Annex A. Typeprøvningsresultater	23

1. Introduktion

I forbindelse med sikkerhedskalibreringen af DS/EN 1520 /7/ blev det vist at uarmerede letklinkerbetonvægge ligger med et højt sikkerhedsniveau, der langt overstiger det krævede niveau, primært i kraft af Ritter-formlens konservatisme. Det høje sikkerhedsniveau blev konstanteret for både Ritter og Navier-formlerne som er ens i DS/EN 1520 /4/ og i DS 420 /5/.

Der er i den seneste tid gennemført en række typeprøvninger af letbetonvægge, som vil gøre det muligt at vurdere sikkerheden og konservatismen i den nuværende dimensionering vha. Ritter-formlen.

Denne rapport omfatter derfor dels en vurdering af de seneste typeprøvningsresultater ved sammenligning med den velkendte Ritter-formel, som anvendes i DS 420 og dels at opstille en forsøgsplan for at skabe en dokumentation for en forbedret dimensionering ved ændring af Ritter og Navier formlerne.

2. Dimensionering af uarmerede vægge

2.1 Ritter formlen for en uarmeret, excentrisk belastet væg (DS 420).

Dimensioneringen af uarmerede vægelementer med lodret, excentrisk belastning iflg. EN 1520 /4/, svarer til de danske regler fra DS 420:2003 /5/. Den eneste forskel er at der i Ritter-formlen anvendes det estimerede eller deklarerede middelelasticitetsmodul, som i den danske Ritter-formel var sat til 1000 gange trykstyrken. Dette forhold er rettet i DS420:2003 pr. juli 2004 /6/.

Den lodrette bæreevne (R_{sd}) beregnes efter Ritter-formlen som:

$$R_{sd} = k_s \cdot f_{cd} \cdot A_c \quad (1)$$

hvor

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

$$k_s = \frac{1}{1 + 12 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\pi^2 \cdot E_{cm}}\right) \cdot \left(\frac{l_s}{t - 2e_t}\right)^2} \quad (3)$$

idet

- b er tværsnittets bredde
- E_{cm} er middelelasticitetsmodulet.
- e_t er den resulterende excentricitet af den lodrette last
- f_{cd} er den regningsmæssige trykstyrke
- f_{ck} er den karakteristiske trykstyrke
- l_s er den frie søjlelængde
- t er tværsnittets tykkelse

2.2 Baggrund for Ritter-formlen.

Ritter-formlen blev i den nuværende form introduceret i DS 420.2:1977 /1/, som var den første danske norm for letbetonelementer, som fulgte de Nordiske retningslinier for normer for lodrette bærende elementer af letbeton. Retningslinierne, norm og kommentarer /2/ var iflg DS 420.2:1977 baserede på de danske erfaringer med prøvning af etagehøje elementer og beskrev baggrunden for formelen udfra at Euler lasten kunne beregnes som

$$N_{eu} = \frac{1}{12} \cdot E \cdot b \cdot t^3 \cdot (\pi / l_s)^2 \quad (4)$$

Ved anvendelse af materialer med krumme arbejdslinier (som beton og letbeton) kunne arbejdslinien dog ikke regnes retlinet, idet E-modulet afhang af lastniveauet som følger

$$E = E_o \cdot (1 - \sigma / f_c) \quad (5)$$

hvor

- E er elasticitetsmodulet
- E_o er begyndelseselasticitetsmodulet.
- f_c er trykstyrken
- σ er trykspændingen

Ved indsættelse af E(σ) i Euler-formlen finder man derefter bæreevnen N_{uc} som

$$N_{uc} = \frac{b \cdot t}{1 + 12 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\pi^2 \cdot E_o}\right) \cdot \left(\frac{l_s}{t}\right)^2} \quad (6)$$

Belastes en væg med en lodret last med excentricitet e_t, så tages kun en del af væggen i regning, nemlig den del der ligger symmetrisk om den lodrette last, så t reduceres til t - 2e_t og bæreevnen (N_{ue}) derefter beregnes som

$$N_{ue} = \frac{b \cdot (t - 2e_t)}{1 + 12 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\pi^2 \cdot E_o}\right) \cdot \left(\frac{l_s}{t - 2e_t}\right)^2} \quad (7)$$

Dette svarer til formlerne i DS 420 og i EN 1520, når der påføres en partialkoefficient og i øvrigt anvendes middelelasticitetsmodulet E_{cm} i stedet for begyndelseselasticitetsmodulet E_o.

Der er således indført to konservative antagelser, som kan lede til en kraftig undervurdering af bæreevnen:

1. En del af det trykkede tværsnit ignoreres, hvilket leder til en overvurdering af spændingerne og til en undervurdering af E-modulet.
2. Der anvendes E_{cm} , som ikke testes som begyndelses E-modulet, men derimod testes som et sekant E-modul. Dette leder til en lavere værdi af E-modulet.

Der er også indført et par andre antagelser, der kan have en positiv eller negativ effekt på vurderingen af bæreevnen:

3. Der er antaget en bestemt form af trykarbejdskurvens form, som leder til $E(\sigma)$.
4. Det at en del af tværsnittet ignoreres, således at førsteordens bøjningsmomentet forsvinde, medfører at det ikke er nødvendigt at tage hensyn til krybningens effekt på udbøjningerne pga. langtidsbelastningen.

Erfaringerne og den historiske udvikling af formlerne er beskrevet i detaljer i hæfte 8 fra BIH /3/, ligesom den teoretiske baggrund for Ritter-formlen er beskrevet i DS420:1977's kommentarer /1/

3. Arbejdskurver og elasticitetsmodul

3.1 Bestemmelse af arbejdskurver

Dansk Standard har haft finansieret en opmåling af trykarbejdskurver på repræsentative letklinkerbetontyper, som udførtes af BYG.DTU /9/. Det teknisk mest korrekte er at anvende disse arbejdskurver til vurdering af forholdet imellem begyndelseselasticitetsmodul og sekantelasticitetsmodul.

Ved udledelsen af Ritter-formlen har man antaget en krum arbejdslinie, svarende til den variation af E-modulet, som angives i (5). Denne variation kan dog ikke omstilles til en decideret arbejdskurve, da $\sigma = f_c$ først opnås ved uendeligt store tøjninger.

Eurocode 2 /10/ angiver en formel for arbejdskurven som

$$\sigma / f_c = (1 - \varepsilon / \varepsilon_{c2})^n \text{ for } \varepsilon \leq \varepsilon_{c2} \quad (8)$$

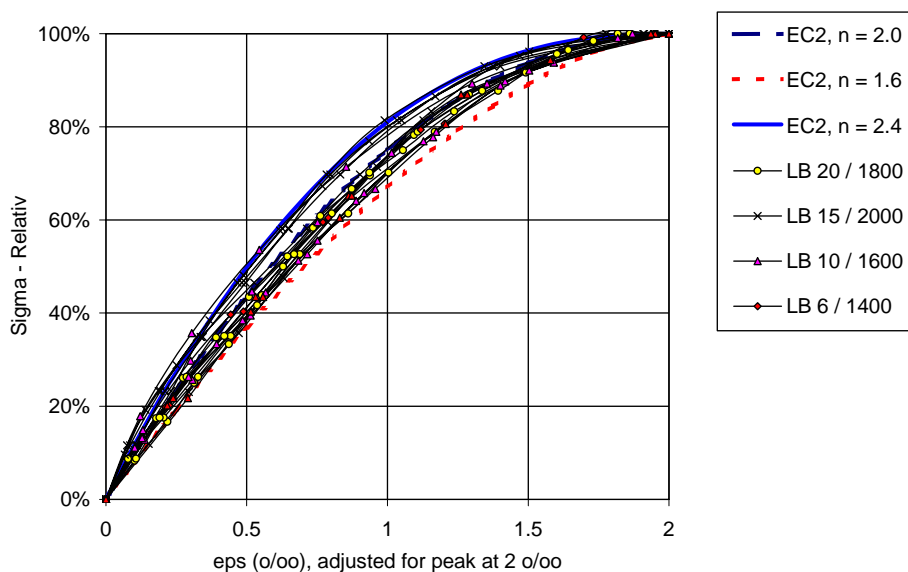
som kan omskrives til

$$E = E_0 \cdot (1 - \varepsilon / \varepsilon_{c2})^{(n-1)/n} \text{ for } \varepsilon \leq \varepsilon_{c2} \quad (9)$$

hvor

- E_0 er begyndelseselasticitetsmodulet ved $\sigma = 0$.
- f_c er trykstyrken.
- n er en konstant. Denne sættes for ordinær beton og let konstruktionsbeton til 2.
- ε er etryktørningen.
- ε_c er den tøjning, hvor den maksimale styrke nås. Denne sættes for ordinær beton og let konstruktionsbeton til 2 o/oo.
- σ er trykspændingen.

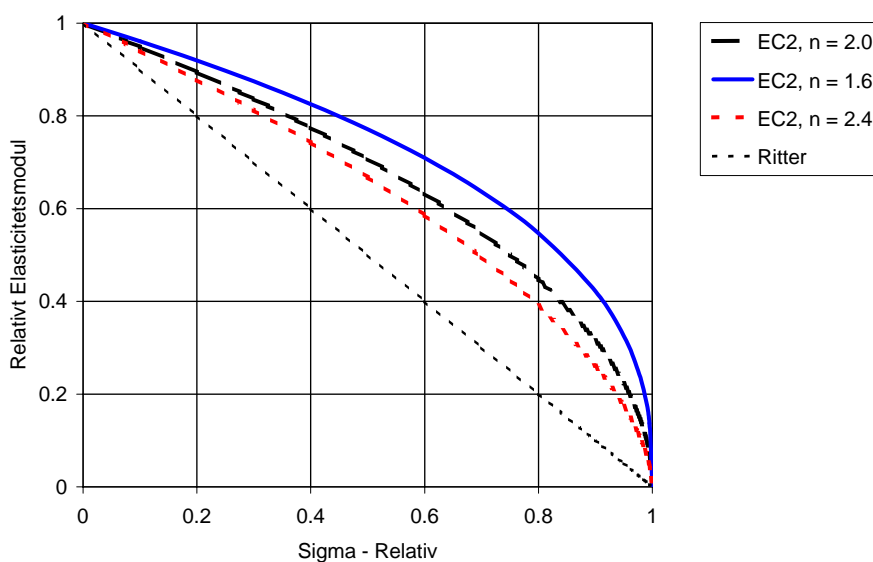
I figur 1 sammenlignes de normerede, målte arbejdskurver mod Eurocode's arbejdskurve med hhv. $n = 2, 2.4$ og 1.6 . Det ses at der er en god overensstemmelse imellem Eurocode 2's foreslåede arbejdskurve form og de målte arbejdskurver.



Figur 1. Normerede arbejdskurver mod teoretiske arbejdskurver.

Det skal dog påpeges at Eurocode's formel (8) reelt antager et $E_o/f_c = 1000$, hvilket ikke stemmer med virkeligheden. Det er derfor mere korrekt at anvende en styrkeafhængighed af elasticitetsmodulet som specificeret i (9) og så sætte $n = 2$ og $\epsilon_c = 2$ o/oo i beregningen af de uarmerede vægges bæreevner.

Den resulterende variation af det relative elasticitetsmodul med trykstyrken er vist på figur 2 nedenfor og stemmer overens med den variation, der findes i Beton-Bogen, figur 3.2-15 /8/.



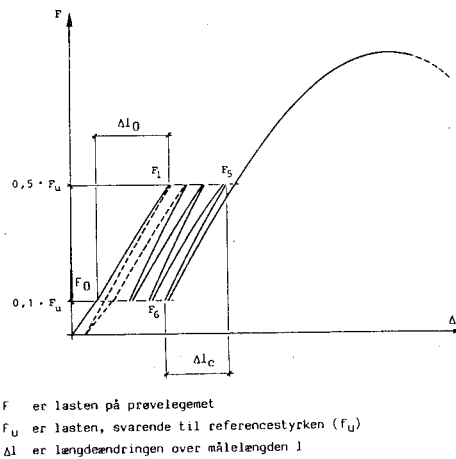
Figur 2. Variation af elasticitetsmodulet som funktion af lastniveauet.

3.2 Bestemmelse af middelelasticitetsmodulet

Middelelasticitetsmodulet kan fastlægges og deklarerer på basis af testning af sekantelasticitetsmodulet, eller det kan beregnes ud fra den karakteristiske trykstyrke og middeldensiteten (ρ).

3.2.1 Testning af materialeparametre

Materialeteststandarderne i DS434-serien stemmer rimeligt overens med metoderne i DS/EN-serien og der er ved indførelsen af disse i 2003 ikke konstanteret signifikante ændringer i de målte værdier.



Figur 3. Stileret belastningsforløb iflg. DS 434.5.

Teststandarderne DS 434.5, DS 423.25 og EN 1352 anvender alle samme type belastningsforløb, hvor sekantelasticitetsmodulet måles imellem σ_{\min} og σ_{\max} ved tredje lastcyklus. Dette svarer reelt til elasticitetsmodulet ved det gennemsnitlige spændingsniveau $\sigma = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max}) / 2$ under testningen.

Dette er en værdi, der ligger under begyndelseselasticitetmodulet E_0 iflg. både Ritter og Eurocode 2. Dette har en indflydelse på forholdet imellem E_0 , som indgår i den teoretiske model og det sekantelasticitetsmodul, der måles eksperimentelt (E_{\exp}).

Test standard	σ_{\min}	σ_{\max}	E_{\exp} / E_0	
			Ritter	Eurocode 2
DS 434.5	$0.1 \cdot f_c$	$0.50 \cdot f_c$	0.70	0.84
EN 1352	$0.05 \cdot f_c$	$0.33 \cdot f_c$	0.82	0.91
DS 423.25	0.5 MPa	$0.4 \cdot f_c$	0.80	0.89

Tabel 1. Lastniveauer ved måling af elasticitetsmodulet og indflydelse på målt elasticitetsmodul i forhold til begyndelseselasticitetsmodul.

3.2.2 Beregning af elasticitetsmodulet

Formlerne for elasticitetsmodulet i DS/EN 1520 svarer til DS 420:2003. Middel-elasticitetsmodulet kan derfor beregnes som:

$$E_{cm} = 10000 \cdot f_{cg}^{1/3} \cdot \eta_2 \quad (10)$$

hvor koefficienten η_2 beregnes som

$$\eta_2 = (\rho / 2200)^2 \quad \text{for } \rho > 1400 \text{ kg/m}^3 \quad (11)$$

$$\eta_2 = (14 / 22) \cdot (\rho / 2200) \quad \text{for } \rho \leq 1400 \text{ kg/m}^3 \quad (12)$$

Dette leder til en konservativ vurdering af elasticitetsmodulet, idet der for væg-lementer ved indsættelse af middeltrykstyrken beregnes en værdi af E_{cm} på ca. 86 % af den korrekte middelværdi /7/. Indsættes den karakteristiske styrke på typisk max. 75 % af middeltrykstyrken, findes der et endnu lavere estimat af elasticitetsmodulet på 75-80 % af det korrekte elasticitetsmodul.

Den karakteristiske værdi af elasticitetsmodulet ligger for en 5%-fraktil ca. 1.645 gange variationskoefficienten under middelværdien. Da den normale variationskoefficient er 10 % /7/, vil den karakteristiske værdi derfor ligge på 80-85 % af middelværdien, altså højere end den estimerede værdi.

I Eurocode 2 anvendes der en middelværdi af sekantelasticitetsmodulet E_{cm} , ligesom der anvendes nominelle tværsnitsdimensioner ved beregning af stabilitetsbæreevnen, der typisk indgår i vurderingen af 2. ordens effekterne.

Den anvendte fastlæggelse af middelværdien af sekantelasticitetsmodulet er derfor mere konservativ end Eurocode 2's almindelige principper. Formlen svarer dog nogenlunde til den formel, der angives i Eurocode 2 og skal derfor ikke umiddelbart ændres.

Eurocode 2 (afsnit 3.1.7) og DS 420 åbner dog også mulighed for at udføre beregninger med betonens aktuelle arbejdskurve eller den arbejdskurve, der specificeres i den pågældende norm. Denne mulighed vil blive overvejet i det efterfølgende.

4. Alternative beregningsformler

I det nedenstående er der angivet eller udledt enkelte alternative formler.

4.1 Ekcentrisk belastet væg iflg. Eurocode 2, afsnit 12.6.1

Dette afsnit i Eurocode 2 angiver bæreevnen som

$$N_c = \eta \cdot f_c \cdot b \cdot (t - 2e_t) \quad (13)$$

hvor η sættes til 1.0.

Det bemærkes at denne formel ikke tager hensyn til andenordens effekter eller til elementets slankhed, således at N_c reelt kan overstige stabilitetslasten.

4.2 Ekcentrisk belastet væg med Eurocode arbejdskurve

Anvendes der metode som i den nuværende Ritter-formel, blot med Eurocode 2's arbejdskurveformel (9), så finder vi for en centralt belastet væg at bæreevnen N_{uc} kan beregnes som

$$N_{uc} = N_{eu} \quad (14)$$

hvilket leder til

$$N_{uc} = b \cdot t \cdot \sigma = E(\sigma) \cdot I \cdot (\pi/l_s)^2 = E_o \cdot (1 - \sigma/f_c)^{(n-1)/n} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 \cdot (\pi/l_s)^2 \quad (15)$$

For enkeltheden indføres nu

$$K_c = 12 \cdot \frac{f_c}{E_o \cdot \pi^2} \cdot (l_s/t)^2 \quad (16)$$

og ved indsættelse og noget omflytning findes

$$K_c \cdot (\sigma/f_c) = (1 - \sigma/f_c)^{(n-1)/n} \quad (17)$$

Eurocode 2 foreskriver $n = 2$ og dette viste sig at passe rimelig godt med de aktuelle letklinkerbetonkurver i afsnit 3.1. Ved indsættelse af $n = 2$ findes

$$\sigma/f_c = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4K_c^2}}{2 \cdot K_c^2} \quad (18)$$

og

$$N_{uc} = b \cdot t \cdot \sigma \quad (19)$$

Ved ekcentrisk belastede vægge anvendes $t - 2e_t$ i stedet for t i formlerne (16) og (19).

4.3 Urevnede tværsnit i trykzonen taget i regning

Det er en mulighed at udvide den del af tværsnittet, der tages i regning til, at omfatte hele den trykkede zone. I en kort, tyk væg, der belastes med $e/t = 1/6$ er der i virkeligheden således tryk over hele tværsnittet, men til gengæld er der et bøjende moment i væggen tværsnit.

Antages der en lineært elastisk materialemodel, så kan der opstilles enkle beregningsformler /23/ og opnås øgede bæreevner /26/ for uændret elasticitetsmodul. DS/EN 1520 foreskriver dog et lavere elasticitetsmodul ved den lineært elastiske materiale model end DS 420 foreskriver, hvilket vil reducere bæreevnen.

Det bøjende moment fremkalder i øvrigt udbøjninger, som specielt ved langtidlast vil kræve, at krybningen tages i regning for at langtidsudbøjningerne fra den ekcentriske lodrette last tages med i vurderingen af anden ordens momentet. Dette vil komplicere beregningerne betragteligt og kan medføre at det vil blive langtidsbelastningen der bliver dimensionsgivende (langtidbelastning i letbetonbyggeri er normalt 70-85 % af den dimensionsgivende korttidsbelastning).

5. Kontrol af uarmerede vægge

I CEN-systemet kræves der et niveau 2⁺ for attestation af overensstemmelse. Dette indebærer en indledende typeprøvning, svarende til hvad der er blevet brugt i Danmark i over 40 år.

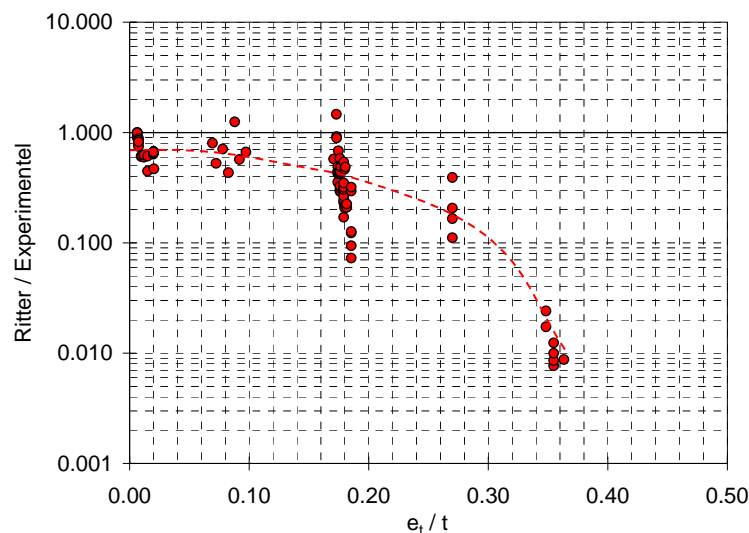
5.1 Testmetoder ved fuldskalaprøvning

Typeprøvningerne omfatter testning af lodret bæreevne af uarmerede elementer med ekscentrisk last iflg. DS/EN 1740 og testning af de relevante materialeparametre.

Testning før 2003 blev gennemført efter testmetoderne i DS 434-serien. Fuldskalatestningen efter DS 434.11 svarer til testning efter DS/EN, idet denne testmetode er baseret på danske erfaringer.

5.2 Data fra litteraturen og ældre typeprøvningsresultater

I forbindelse med CEN-standardiseringen blev der samlet en række ældre forsøgsresultater sammen /26, 3/ som viste at DS420's Ritter-formel (1)-(3) var særdeles konservativ.



Figur 4. Vurdering af DS420's Ritter formel imod ældre resultater /26/.

I figur 4 skal det erindres at ekscentriciteten i praksis altid vil være mindst 10-15 % af væggens tykkelse, og det ses at den beregnede bæreevne ved $e_i/t = 1/6$ er ca. 50 % af den eksperimentelle bæreevne.

Baggrundsdata fra denne undersøgelse /26/, stammer fra publikationerne /16, 17, 18, 19, 20, 21, 22/. Tallene gengives ikke i denne rapport.

5.3 Nye typeprøvninger

I forbindelse med re-certificeringen iht. DS420:2003 blev der i 2004 gennemført en række typeprøvninger af de danskproducerede, uarmerede letklinkerbetonelementer. Der er i løbet af perioden 1995-2004 desuden foretaget en række typeprøvninger på elementer fra enkelte andre danske produktioner.

Resultaterne af disse prøvninger er angivet i Annex A.

6. Sammenligninger

De indsamlede data kan vurderes ved at plote forholdet imellem fx. beregnet bæreevne og eksperimentel bæreevne imod ekcentriciteterne. I det efterfølgende benyttes forkortelserne:

N_{exp}	Experimentelt målt bæreevne.
N_{EC2}	Beregnet bæreevne iflg. Eurocode 2's arbejdskurve (9) og anvendelse af formlerne i afsnit 4.2.
N_{Ritter}	Beregnet bæreevne iflg. DS 420's Ritter formel.
$N_{Ritter+}$	Beregnet bæreevne iflg. DS 420's Ritter formel med elasticitetsmodul forøget ved multiplikation med 1/0.7 iflg. tabel 1.

Der bruges i disse vurderinger udelukkende beregnede sekantelasticitetsmoduler, idet ikke alle forsøgsprogrammer har bestemt elasticitetsmodulerne eksperimentelt.

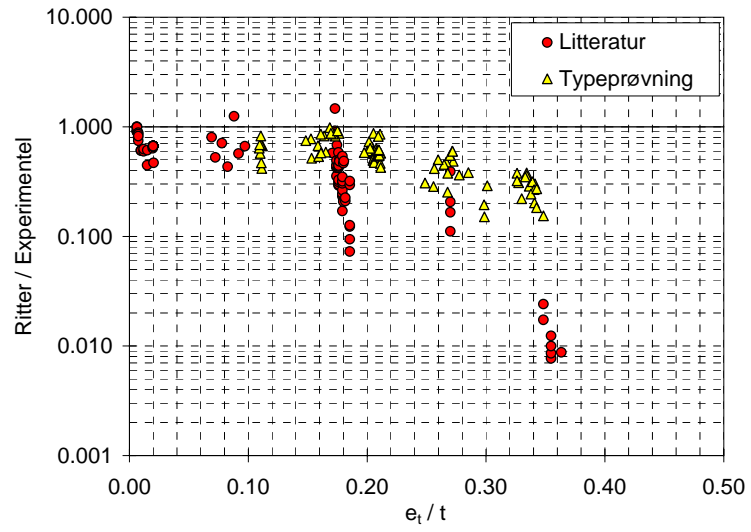
På figur 5 bekræfter sammenligningen imellem eksperimentel bæreevne og beregnet bæreevne iflg. DS420 at bæreevneberegningen er konservativ og at konservatismen vokser med voksende ekcentricitet.

Det ses, at der er mindre spredning på de nye typeprøvningsresultater end der var på de ældre data fra litteraturen, hvilket bl.a. kan skyldes, at de ældre tal også omfatter forsøgsresultater fra porebetonelementer.

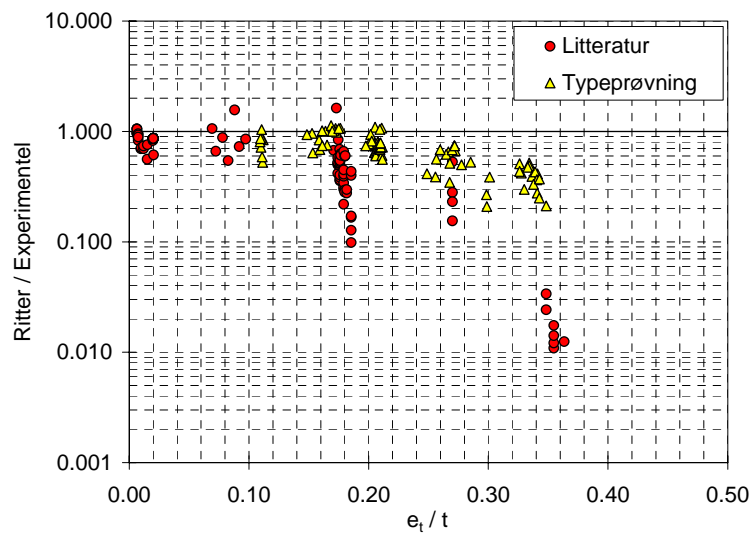
En forøgelse af begyndelseselasticitetsmodulet til sekantelasticitetsmodulet/0.7 (iflg. tabel 1) vil give en beskeden forøgelse af den beregnede bæreevne, som vist på figur 6.

Skiftes modelleringen af arbejdskurven ud fra Ritters model (5) til Eurocode 2's model (9) så stiger bæreevnen med 5 - 25 % som vist på figur 7.

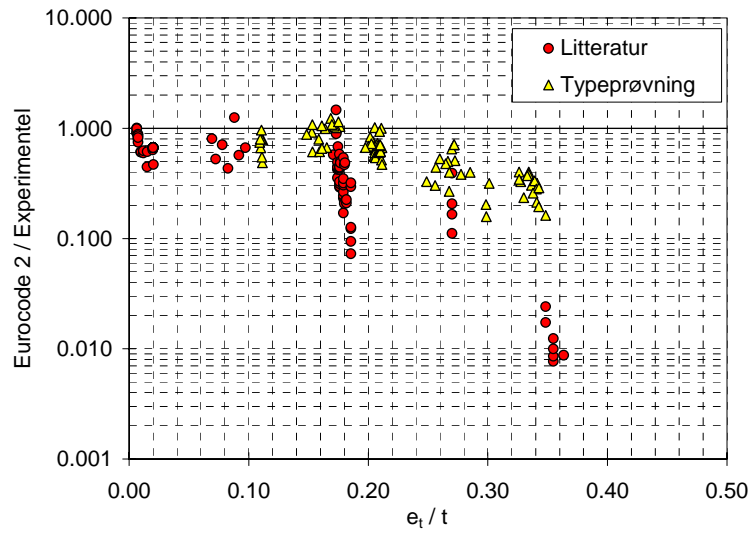
Formlerne er i alle tre tilfælde konservative, hvilket nok primært skyldes, at kun den centralt belastede del af tværsnittet tages i regning.



Figur 5. $N_{\text{Ritter}} / N_{\text{exp}}$ versus ekcentricitet e_t/t .



Figur 6. $N_{\text{Ritter}+} / N_{\text{exp}}$ versus ekcentricitet e_t/t .



Figur 7. N_{EC2} / N_p versus ekcentricitet e_t/t .

7. Konklusioner

De fremsendte typeprøvningsresultater fra Give, Expan, Betonelement, Leth Beton og Gandrup er vurderet i rapporten og bekræfter Ritter-formlens konservatisme.

Ritter-formlens udledning antager en variation af elasticitetsmodulet, der betyder at begyndelseselasticitetsmodulet må forventes at være 70 – 80 % af sekantelasticitetsmodulet. Der er desuden foretaget en vurdering af de estimerede elasticitetsmoduler, som viser, at disse er konservativt fastlagte sekantelasticitetsmoduler (estimat ca. 86 % af korrekt værdi). Dette bidrager en del til Ritter-modellens konservatisme.

Sammenlignes tidligere målte arbejdskurver for letklinkerbeton, så ses det at der kan overvejes en ændret arbejdskurve og man kan komme frem til en alternativ formel for bæreevnen af et ekscentrisk, lodret belastet vægelement, som øger bæreevnen 5-25 %.

En meget stor del af Ritter formlens konservatisme stammer fra at en del af trykzonen i tværsnittet ignoreres – nemlig den del der er i tryk, men ikke ligger centralt placeret om den lodrette last. Ønskes dette bidrag taget i regning, skal man dog også vurdere effekterne af krybning på anden-ordens effekten, hvilket kan blive ganske kompliceret.

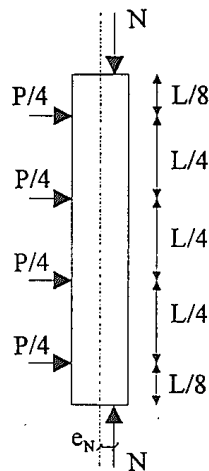
De undersøgte ændringer eller andre ændringer i beregningen af lodrette bæreevner kan dog ikke implementeres i konstruktionsdesign endnu, idet en øget lodret bæreevne vil påvirke Navier-formlens bæreevne for kombineret lodret og vandret last.

8. Testprogram til fase 2

I fase 2 skal der opstilles en eksperimentel dokumentation for Navier-formlen, dvs. for brugen af bøjningstrækstyrken.

Dette gøres ved at lave forsøg med 4 typer vægelementer med repræsentative densiteter og styrker, typisk med tykkelser på 100 mm og højder (L) på 2500 mm. For hver type produceres der 6 elementer med en bredde på 600-1000 mm.

Alle elementerne belastes med en lodret last N med ekcentriciteten $e_N = t/6$, mens de elementer, der udsættes for tværlast (P) belastes i $L/8$, $3L/8$, $5L/8$ og $7L/8$ som vist på figur 8.



Figur 8. Belastningsarrangement.

I samtlige vægforsøg registreres elementernes geometri og arbejdskurven opmåles (udbøjning), ligesom revnelasten (N_{revne}) og brudlasten (N_{ult}) registreres. Der måles densitet og fugt i alle elementer.

Nr	Forsøgsbeskrivelse
1	Belastes udelukkende lodret i $t/6$, men anvendes til at fastlægge N_{ult} og N_{revne} .
2	Den lodrette last N_2 sættes til midt imellem brudlast og revnelast fra forsøg 1, dvs. $N_2 = (N_{ult,1} + N_{revne,1})/2$. P øges efter påførsel af N indtil der opnås brud.
3	Den lodrette last sættes til $N_3 = (3N_{ult,1} + N_{Revne,1})/4$. P øges efter påførsel af N indtil der opnås brud.
4	Den lodrette last sættes til $N_4 = (N_{ult,1} + 3N_{Revne,1})/4$. P øges efter påførsel af N indtil der opnås brud.
5	Reserveelement, som anvendes til et ekstra vægforsøg, dersom de øvrige forsøg 1 til 4 er forløbet godt.
6	Dette element bruges til at måle trykstyrke, fugtindhold, elasticitetsmodul og bøjningstrækstyrke med. Der laves tre prøveemner til hhv. trykstyrke, elasticitetsmodul og bøjningstrækstyrke.

9. Referencer

1. DS 420.2:1977 "Dansk Ingeniørforenings norm for letbeton, bærende vægelementer", 1. udgave, juli 1977.
2. NA 15.3:1977 "Kommentarer til Dansk Ingeniørforenings norm for letbeton bærende vægelementer", september 1977.
3. Goltermann, P.: "Helvægge af letklinkerbeton. Udvikling, erfaring og sikkerhed vedrørende dimensionering af uarmerede vægelementer", BIH, Hæfte 8, Oktober 2003.
4. EN 1520:2002 "Præfabrikerede armerede elementer af letklinkerbeton med åben struktur, 2002.
5. DS420:2003 "Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer", Dansk Standard, August 2003.
6. DS420, Ret. 1: 2004 "Rettelsesblad nr. 1 til Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer", Dansk Standard, September 2004. 1
7. Dalsgaard Sørensen, J. og Goltermann, P.: "Calibration of partial safety factors for EN 1520", Dansk Standard, August 2004.
8. Beton-Bogen, 2.udg. 1985, Aalborg Portland
9. Larsen, H.: "Bestemmelse af arbejdslinier for letklinkerbeton og porebeton", BYG.DTU, August 2002.
10. Eurocode 2: "Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings", December 2003.
11. DS 423.25 "Betonprøvning. hærdnet beton. Elasticitetsmodul".
12. DS 434.5 "Bærende elementer af letbeton med porøse tilslag. Elasticitetsmodul".
13. EN 1352 " Bestemmelse af statisk trykelasticitetsmodul for autoklaveret porebeton eller letbeton med porøse tilslag og åben struktur.
14. DS 434.11 "Bærende elementer af letbeton med porøse tilslag. Funktionsprøvning af bjælke- og pladelementer".
15. EN 1740, "Performance test for prefabricated reinforced components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure under predominantly longitudinal load (vertical components)".
16. "Armerede Søjler, Forsøgsrapport", Ingholt Consult, BIH-Basis Håndbog, 1990.
17. "Prøvningsattest, FIBO 75mm", Dantest, BIH-Basis Håndbog, 1987
18. "Laboratorieundersøgelse af kombinationsvægge af Gasbeton. Forsøgsrapport", AEC, 1991
19. A.Efsen and O.Glarbo: "Sammenlignede Gasbetonblokke", Lab. Bygningsteknik (ABK), DTH, 1961
20. A.Efsen and O.Glarbo: "Vægelementer af Gasbeton", Lab. Bygningsteknik (ABK), DTH.
21. S. Ø. Olesen: "Strength of Lightweight Concrete Wall Panels", CEB/FIP-Colloquium on Lightweight Concrete, Copenhagen, 1971.

22. Private communication with Torben Poulsen, 1992.
23. Poulsen, E. og Risager, S.: "The bearing capacity of linear elastic brittle columns", Bygningsstatistiske meddelelser, Nr. 3, 1995.
24. 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.
25. 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.
26. Goltermann, P.: "Lightweight Concrete Walls and Columns: Determining the Load-carrying Capacity", Nordic Concrete Research, pp.10-26, No.16, 1995.

Annex A. Typeprøvningsresultater

Nr	L (mm)	t (mm)	b (mm)	l _s (mm)	e _N (mm)	e _p (mm)	N _{exp} (kN)	ρ (kg/m ³)	f _c (Mpa)	E (Mpa)	Brud
1	3000.0	121.9	603.8	3050.0	20.5	1	355.0	1885	17.1		S
2	2999.0	122.3	598.1	3049.0	20.1	0	375.0	1859	15.4		S
3	2998.0	122.4	600.6	3048.0	21.1	0	385.0	1885	18.4		S
4	3001.0	149.9	588.2	3051.0	25.2	-1	625.0	1850	18.7		S
5	3000.0	151.3	601.9	3050.0	25.7	0.5	673.0	1879	20.3		S
6	3002.0	151.4	602.6	3052.0	26.0	0	664.0	1868	20.9		S
7	3000.0	201.1	600.3	3050.0	33.9	0	1000.0	1775	21.6		T
8	2999.0	200.5	601.9	3049.0	33.0	1	1158.0	1773	22.6		S
9	3001.0	201.4	601.4	3051.0	34.3	1	1000.0	1739	21.1		T
10	2330.5	102.6	501.3	2520.1	20.0	1	171.9	1362	14.0	11523	S
11	2332.0	102.3	498.3	2521.6	20.0	1	178.7	1352	14.0	11523	S
12	2330.0	102.4	501.3	2519.6	20.0	1	208.2	1363	14.0	11523	S
13	2352.5	102.5	500.7	2542.1	20.0	1	362.4	1652	25.4	23288	S
14	2351.5	102.8	502.0	2541.1	20.0	1	352.5	1942	25.4	23288	S
15	2351.0	102.4	501.7	2540.6	20.0	1	385.9	1944	25.4	23288	S
16	2358.0	100.7	498.3	2547.3	20.0	1	196.4	1436	14.4	12826	S
17	2345.0	101.9	498.3	2534.6	20.0	1	182.7	1420	14.4	12826	S
18	2336.0	101.4	499.3	2525.6	20.0	1	174.8	1406	14.4	12826	S
19	2324.0	100.8	500.7	2513.6	20.0	1	385.9	1916	20.2	22885	S
20	2325.0	102.3	501.3	2514.6	20.0	1	225.9	1895	20.2	22885	S
21	2317.0	102.3	500.3	2506.6	20.0	1	385.9	1908	20.2	22885	S
22	2344.5	101.9	500.7	2534.1	20.0	1	163.0	1317	9.0	8842	S
23	2349.5	101.4	500.7	2539.1	20.0	1	144.4	1310	9.0	8842	S
24	2347.0	102.0	500.0	2536.6	20.0	1	165.0	1313	9.0	8842	S
25	2348.5	101.1	501.3	2538.1	20.0	1	318.2	1919	23.1	24615	S
26	2332.0	100.9	499.7	2521.6	20.0	1	328.0	1904	23.1	24615	S
27	2329.0	100.2	500.0	2518.6	20.0	1	318.2	1913	23.1	24615	S
28	2329.0	100.2	499.7	2518.6	20.0	1	206.2	1472	19.3	14713	S
29	2332.0	100.0	500.0	2521.6	20.0	1	221.0	1490	19.3	14713	S
30	2334.0	99.5	498.7	2523.6	20.0	1	255.3	1491	19.3	14713	S
31	2345.0	99.6	499.7	2534.6	20.0	1	211.1	1989	19.2	19805	S
32	2320.5	99.3	501.7	2510.1	20.0	1	303.4	1928	19.2	19805	S
33	2329.0	100.2	497.3	2518.6	20.0	1	298.5	1933	19.2	19805	S
34	2328.0	100.2	501.3	2517.6	20.0	1	323.1	1896	19.2	19805	S
35	2330.5	100.5	500.0	2520.1	20.0	1	189.5	1392	16.0	12849	S
36	2328.0	100.0	501.3	2517.6	20.0	1	182.7	1381	16.0	12849	S
37	2334.0	99.9	500.0	2523.6	20.0	1	176.8	1355	16.0	12849	S

Tabel A.1a. Typeprøvningsresultater.

Nr	L (mm)	t (mm)	b (mm)	l _s (mm)	e _N (mm)	e _p (mm)	N _{exp} (kN)	ρ (kg/m ³)	f _c (Mpa)	E (Mpa)	Brud
38	2348.0	100.1	498.3	2537.6	20.0	1	328.0	1905	25.2	22298	S
39	2347.0	100.0	497.3	2536.6	20.0	1	328.0	1933	25.2	22298	S
40	2350.5	100.3	500.3	2540.1	20.0	1	250.4	1924	25.2	22298	S
41	2337.0	104.2	501.0	2526.6	20.0	1	225.0	1605	19.9	17685	S
42	2334.5	104.9	501.7	2524.1	20.0	1	284.8	1619	19.9	17685	S
43	2336.0	103.7	500.3	2525.6	20.0	1	255.3	1613	19.9	17685	S
44	2337.5	106.3	501.3	2527.1	20.0	1	318.2	1643	19.9	17685	S
45	2851.0	100.5	507.6	3017.0	32.0	1	76.6	1359	17.3		D
46	2851.0	100.3	498.9	3017.0	27.0	1	117.1	1304	15.6		C
47	2842.0	98.2	500.4	3008.0	27.0	1	83.4	1359	17.4		-
48	2853.0	101.4	502.0	3019.0	26.0	1	156.0	0	14.8		C
49	2856.5	100.9	501.9	3022.5	27.0	1	102.2	1355	16.9		-
50	2858.0	99.1	500.9	3024.0	26.0	1	109.3	1514	26.4		-
51	2856.5	101.3	497.3	3022.5	26.0	1	133.2	1553	26.7		-
52	2857.0	102.0	495.9	3023.0	26.0	1	131.9	1497	24.6		-
53	2843.5	149.6	505.6	3009.5	50.0	1	203.1	1280	15.8		-
54	2856.0	149.3	510.0	3022.0	51.0	1	229.8	1277	15.5		-
55	2847.0	149.5	505.4	3013.0	50.0	1	130.1	1246	15.3		-
56	2826.5	151.6	500.7	2992.5	50.0	1	152.6	1228	15.3		-
57	2839.5	150.4	501.5	3005.5	50.0	1	133.5	1281	15.2		-
58	2855.5	152.7	505.5	3021.5	51.0	1	248.6	1519	25.7		-
59	2861.5	152.7	501.8	3027.5	49.0	1	269.5	1535	25.7		-
60	2846.5	152.6	497.5	3012.5	50.0	1	197.0	1531	26.3		-
61	2843.5	151.6	502.0	3009.5	50.0	1	194.0	0	27.3		-
62	2843.5	152.6	499.0	3009.5	50.0	1	210.0	1538	26.3		-
63	2853.0	103.7	502.8	3019.0	26.8	1	234.3	1516	21.4		-
64	2851.5	103.8	509.0	3017.5	30.0	1	236.5	1446	19.6		-
65	2855.0	103.9	503.0	3021.0	30.0	1	192.5	1496	19.1		-
66	2875.0	103.0	500.4	3023.0	25.8	1	144.5	1566	25.6		-
67	2849.0	104.5	503.1	3015.0	25.0	1	273.0	1579	23.3		-
68	2851.5	103.3	502.8	3017.5	25.5	1	176.7	1579	22.5		-
69	2858.5	103.6	501.8	3024.5	26.8	1	182.4	1583	26.1		-
70	2857.0	102.6	493.7	3023.0	25.3	1	253.2	1564	24.4		-
71	2836.0	151.5	497.9	3002.0	49.0	1	252.2	1394	16.6		-
72	2849.0	151.8	498.8	3015.0	51.0	1	242.7	1391	16.2		-
73	2843.5	151.0	501.6	3009.5	50.0	1	201.0	1382	17.2		-
74	2859.5	152.8	501.6	3025.5	45.0	1	301.8	1416	16.3		-

Tabel A.1b. Typeprøvningsresultater.

Nr	L (mm)	t (mm)	b (mm)	l_s (mm)	e_N (mm)	e_p (mm)	N_{exp} (kN)	ρ (kg/m ³)	f_c (Mpa)	E (Mpa)	Brud
75	2852.5	153.3	499.1	3018.5	49.0	1	245.6	1590	26.5		-
76	2852.0	154.7	501.5	3018.0	52.0	1	257.9	1587	24.7		-
77	2849.5	153.3	499.3	3015.5	49.0	1	295.3	1617	26.3		A
78	2853.0	153.2	500.0	3019.0	50.0	1	249.4	1625	27.2		-
79	2813.0	104.7	499.4	2979.0	15.0	1	169.1	1611	10.0		S
80	2827.0	104.5	506.0	2993.5	15.0	1	144.1	1611	10.0		T,F
81	2820.5	104.4	497.0	2986.5	15.0	1	249.7	1611	10.0		S
82	2822.5	104.0	499.5	2988.5	15.5	1	183.9	1611	10.0		S
83	2817.0	104.4	501.0	2983.0	14.5	1	178.4	1554	10.8		S
84	2823.0	100.5	497.8	2989.0	15.0	1	267.2	1619	15.2		S
85	2829.0	99.9	496.8	2995.0	15.5	1	228.9	1619	15.2		S
86	2820.0	151.0	498.5	2986.0	40.0	1	251.4	1789	12.5		T
87	2815.5	152.0	503.5	2981.5	40.0	1	287.3	1789	12.5		A
88	2820.5	153.5	502.3	2986.5	39.8	1	141.2	1789	12.5		T,D
89	2815.5	151.8	500.8	2981.5	40.3	1	254.8	1824	11.9		S
90	2730.0	98.4	500.5	3030.0	10.0	1	95.2	937	5.2		T
91	2730.0	98.8	498.5	3030.0	10.0	1	154.0	937	5.2		T
92	2730.0	99.1	501.5	3030.0	10.0	1	139.2	937	5.2		S
93	2730.0	100.0	499.5	3030.0	10.0	1	183.6	1213	8.6		T
94	2730.0	100.8	500.5	3030.0	10.0	1	168.4	1213	8.6		T
95	2730.0	99.4	503.5	3030.0	10.0	1	150.3	1213	8.6		T
96	2730.0	100.4	500.0	3030.0	10.0	1	155.1	1213	8.6		T
97	2730.0	99.5	500.5	3030.0	10.0	1	295.4	1754	19.7		-
98	2730.0	99.3	498.5	3030.0	15.0	1	298.5	1754	19.7		-
99	2730.0	99.3	498.5	3030.0	20.0	1	270.5	1754	19.7		T

Tabel A.1c. Typeprøvningsresultater.

I søjlen ”Brud” er den opgivne brudform angivet som

- T Afskalmingsbrud i top eller bund
- C Søjlebrud
- A Afbrudt før brud, da lastudstyr ikke kunne laste højere
- D Defekt fra start (forsøget udgår af vurderingerne)
- C Træk i formsiden (forsøget udgår af vurderingerne)
- Brudform ikke oplyst og fremgår ikke af rapporteringen