



## ANALYSE AF NORMENS BINDERKRAV TIL STÅENDE FORTANDING

### Indledning

Teknologisk Institut har for **Dansk Byggeri, Carsten Pedersen** udført disse prøvninger. Formålet med prøvningerne var at analysere nødvendigheden af normens binderkrav til stående fortanding og eventuelt angive forslag til en revideret tekst.

### Normtekst

Normteksten er angivet i DS/INF 167 under afsnit A4, hvor følgende tekst er angivet: ”For bygninger med højde indtil 8,5 m tillades stående fortanding dog uden nærmere eftervisning, når der anbringes en  $\phi$  4 mm trådbinder i hvert tredje skifte i fortandingsfugen.”

### Materialer

Til forsøgene anvendtes følgende materialer:

Tabel 1. Materialer til forsøgene

| Materialer | Type  | Bemærkninger   |
|------------|---|--|
| Mørtel     | KC 60/40/850 vådmørtel                              | Forsøg med en svag mørtel er konservativ, da en stærk mørtel vil give en kraftig vedhæftning, der modsvarer binderens effekt, som således ikke bliver ”synlig” |
| Teglsten   | Type sten C.<br>Minutsugning: 3,4 kg/m <sup>2</sup> | Relevant at anvende en stærkt sugende sten i kombination med en vådmørtel  |
| Bindere    | Ø4 RF Z bindere.<br>L = 180 mm                      | Større andel fri længde end indmuret i den stående fortanding  |

### Udførelse af prøvelegemer, lagring og prøvning

#### Primære forsøg

De primære forsøg til bestemmelse af styrken for de efterfølgende beskrevne belastningstyper er ikke udført efter nogen standard, da problemstillingen er for speciel til, at der er udviklet en standard for disse styrkeparametre.

Alle belastningstyper afprøves med 3 typer samlinger:

Type A: Stående fortanding med bindere. Her er indlagt bindere i hver fuge, da det vurderedes, at usikkerheden ved indlæggelse af binder i ”kun” hver 3. fuge vil blive for stor, hvorved en eventuel forskel mellem samlingen med bindere og samlingen uden bindere kunne risikere at blive marginal.

Type B: Stående fortanding uden bindere. Det vil sige opmuret på samme måde som type A, blot er der ikke bindere i samlingen. I type A og B komprimeres mørtlen udefra med fugeske som i praksis.

Type C: Opmuret i ét. Dvs i princippet som liggende fortanding.

Alle forsøgslegemer blev udført med en mørtelfuge i bund, således at hvert prøvelegeme havde 4 skifter bestående af 4 fuger og 4 sten.

Alle forsøgslegemer blev opmuret som et H, svarende til en dobbeltsamling mellem bagmur og skillevæg.

Opmuringen blev generelt foretaget med ”slåede studser”.

Tiden mellem opmuring af vægdele og den stående fortanding for væg A og B var 6-7 dage.

Efter opmuring henstod prøvelegemerne i laboratoriemiljø inden prøvning. Tiden mellem opmuring og prøvning var cirka 28 døgn.

Samlingerne blev udsat for påvirkninger svarende til, primært:

- Forskydning            Benævnt Q
- Moment                Benævnt M
- Trækraft                Benævnt N

Herved kan kapaciteten af type A, B og C vurderes.

Med disse påvirkninger vurderes, at samlingerne bliver testet for de væsentligste kræfter som optræder i sædvanligt byggeri og dermed repræsenterer forsøgene de faktiske påvirkninger.

Fotografisk dokumentation for opmuring og forsøg ses i bilag 1.

Forsøgsopstilling og -planlægning ses i bilag 2.

### **Sekundære forsøg**

- Prøvning til orienterende bestemmelse af bøjningstrækstyrken ( $f_{xk1}$ ) blev udført i henhold til den relevante standard EN 1052-5. Resultater ses i bilag 3.
- Prøvning for mørtlens trykstyrke blev udført efter EN 1052-11. Resultater ses i bilag 4.
- Prøvning til bestemmelse af den initiale forskydningsstyrke ( $f_{vk0}$ ) blev udført i henhold til den relevante standard EN 1052-3. Resultater ses i bilag 5.

## Analyse af forsøg

### Primære forsøg

Resultater og afrapportering fra forsøgene ses i bilag 6. Brudværdierne er angivet i nedenstående tabel.

Tabel 2. Brudværdier (kN)

| Forsøg | A<br>Stående fortanding<br>med bindere | B<br>Stående fortanding<br>uden bindere | C<br>Liggende fortanding |
|--------|--|---|--------------------------|
| Q      | 18,6                                   | 13,3                                    | 14,2                     |
| M      | 1,08                                   | 1,06                                    | 1,03                     |
| N      | 2,94                                   | 2,69                                    | 2,01                     |

I efterfølgende tabel er brudværdierne relateret til den liggende fortanding, som er det ubrudte murværk

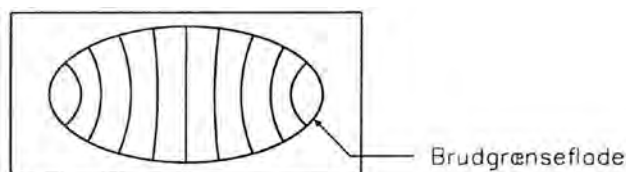
Tabel 3. Relative brudværdier

| Forsøg | A<br>Stående fortanding<br>med bindere | B<br>Stående fortanding<br>uden bindere | C<br>Liggende fortanding |
|--------|--|---|--------------------------|
| Q      | 1,31                                   | 0,94                                    | 1,00                     |
| M      | 1,05                                   | 1,03                                    | 1,00                     |
| N      | 1,46                                   | 1,34                                    | 1,00                     |
| Middel | 1,27                                   | 1,10                                    | 1,00                     |

Ud fra de aktuelle brudværdier konkluderes, at den liggende fortanding generelt er den svageste, mens den stående fortanding uden bindere er "lidt" stærkere, mens den stående fortanding med bindere er "noget" stærkere. (Bemærk i de aktuelle forsøg er der bindere i hver fuge).

Dette forhold blev også generelt observeret under forsøgene, hvilket fx kan ses på foto 23 ift. foto 22 og 21, hvor M-forsøgene viste stærkere tværsnit, såfremt dette var udført med stående fortanding.

Det er endvidere i overensstemmelse med Teknologisk Instituts erfaring, at efterfugede tværsnit, hvor der fuges og komprimeres med fugejern, er stærkere end sædvanligt opmuret murværk. Dette skyldes, at styrken i murværk hovedsagelig forekommer i den del af tværsnittet/mørtelfugen, som er komprimeret. I sædvanligt "opmuret murværk"/"liggende fortanding" er det komprimerede areal et ellipseformet område omkring midten af stenen, som det ses på efterfølgende figur.



Figur 1. Fra Tegl 24. Angivelse af område med komprimering/stor vedhæftning

Når mørtelfugen fyldes fra siderne og komprimeres herfra, bliver hele tværsnittet komprimeret, og selv om dette enkelte steder er af en dårligere kvalitet, er fugen samlet set bedre.

For Q-forsøgene er styrken af den stående fortanding svagt mindre end den liggende fortanding, hvilket dog tilskrives almindelig usikkerhed.

Konklusionen for de primære forsøg er således:

*Brudværdierne er overordnet set ret ens og derfor vurderes det rimeligt at fjerne teksten i DS/INF 167 (den aktuelle tekst er beskrevet ovenstående afsnit "Normtekst").*

### Sekundære forsøg

Gennem de sekundære forsøg kan murværkets styrkeparametre bestemmes:

Tabel 4. Styrkeparametre for de murede prøvelegemer

| Styrkeparameter                 | Benævnelse     | Symboler  | Værdi     | Reference                         |
|---------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| Forskydningsstyrke              | Karakteristisk | $f_{vk0}$ | 0,119 MPa | Bilag 5                           |
|                                 | Middel         | $f_{v0}$  | 0,149 MPa | Bilag 5                           |
| Bøjningstrækstyrke om liggefuge | Karakteristisk | $f_{xk1}$ | 0,113 MPa | Bilag 3                           |
|                                 | Middel         | $f_{x1}$  | 0,155 MPa | Bilag 3                           |
| Stentrykstyrke (Typesten)       | Normaliseret   | $f_b$     | 42 MPa    | Tidligere målt                    |
| Bøjningstrækstyrke om studsfuge | Karakteristisk | $f_{xk2}$ | 0,516 MPa | DS/Inf 167, tabel 4d              |
|                                 | Middel         | $f_{x2}$  | 0,774     | Forøget faktor 1,5 iht. EN 1052-2 |

De beregnede brudværdier (fra de målte styrkeparametre) fås til:

Forskydning (Q):

$$\text{Middelværdi: } 2 \times 108 \times 267 \times 0,149 / 1000 = 8,59 \text{ kN}$$

$$\text{Karakteristisk: } 2 \times 108 \times 267 \times 0,119 / 1000 = 6,86 \text{ kN}$$

$$\text{Regningsmæssig: } 6,86 / 1,7 = 4,04 \text{ kN}$$

Moment (M)

$$\text{Momentarmen bestemmes til: } [(228 \times 2 + 12) / 2] - 25 = 209 \text{ mm}$$

$$\text{Middelværdi: } (1/6) \times 227 \times 108^2 \times 0,774 / (209 \times 1000) = 1,63 \text{ kN}$$

$$\text{Karakteristisk: } (1/6) \times 227 \times 108^2 \times 0,516 / (209 \times 1000) = 1,09 \text{ kN}$$

$$\text{Regningsmæssig: } 1,09 / 1,7 = 0,64 \text{ kN}$$

Beregnete værdier for træk (N) er angivet i bilag 7.

De beregnede værdier sammenlignes med de målte værdier:

Tabel 5. Brudværdier (kN)

| For-søg<br>Type | A                                    | B                                     | C                      | Beregne værdier pba.<br>målte styrkeparametre |                     |                     |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---|---------------------|---------------------|
|                 | Stående<br>fortanding<br>med bindere | Stående<br>fortanding<br>uden bindere | Liggende<br>fortanding | Middel  | Karak-<br>teristisk | Regnings-<br>mæssig |
| Q               | 18,6                                 | 13,3                                  | 14,2                   | 8,59  | 6,86                | 4,04                |
| M               | 1,08                                 | 1,06                                  | 1,03                   | 1,63  | 1,09                | 0,64                |
| N               | 2,94                                 | 2,69                                  | 2,01                   | 3,86  | 2,93                | 1,71                |

I efterfølgende tabel er værdierne relateret til de regningsmæssige værdier:

Tabel 6. Relative brudværdier

| For-søg<br>Type | A                                    | B                                     | C                      | Beregne værdier pba.<br>målte styrkeparametre |                     |                     |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---|---------------------|---------------------|
|                 | Stående<br>fortanding<br>med bindere | Stående<br>fortanding<br>uden bindere | Liggende<br>fortanding | Middel  | Karak-<br>teristisk | Regnings-<br>mæssig |
| Q               | 4,60                                 | 3,29                                  | 3,51                   | 2,13  | 1,70                | 1,00                |
| M               | 1,69                                 | 1,66                                  | 1,61                   | 2,55  | 1,70                | 1,00                |
| N               | 1,72                                 | 1,57                                  | 1,18                   | 2,26  | 1,71                | 1,00                |

Det ses, at for forskydningen (Q) overstiger de ved tests fundne værdier langt de regningsmæssige. Ved de 2 andre typer brud (M og N) er sikkerheden knap så stor, dog giver den stående fortanding størst sikkerhed.

Ovenstående beregninger supplerer den tidligere konklusion.

## Samlet konklusion

Det konkluderes at:

*Brudværdierne overordnet set er ret ens og at sikkerheden for den stående fortanding uden bindere er tilstrækkelig, når der sammenlignes med den liggende fortanding og beregninger, og derfor vurderes det rimeligt at fjerne teksten i DS/INF 167 omkring bindere i stående fortanding.*

## Udførelsespraksis

Udførelsespraksis omkring stående fortandinger vurderes at kunne forbedres markant såfremt Dansk Byggeri informerer sine medlemmer om, at stående fortandinger skal udføres som en "han-udgave" og ikke som en "hun-udgave". Denne praksis er blevet udbredt, men giver meget dårlig sammenhæng mellem vægfelterne, da stenen i tværvæggen blot stoppes ind i huller i den færdigopmurede bagmur. I tilfælde, hvor hullerne sidder forskudt, giver de forskellige anvendte løsninger næppe nogen sammenhæng overhovedet.

*Resultatet af undersøgelsen inklusive vurderinger, analyser og udbedringsforslag må kun gengives i sin helhed, og er kun gældende for nærværende sag og må ikke anvendes på andre sager.*

*I uddrag kun efter skriftlig tilladelse fra Teknologisk Institut.*

Aarhus, den 18. december 2013  
Teknologisk Institut, Murværk



Poul Christiansen

/



Arash Ehtesham

Dir. tlf.: 72 20 38 20  
E-mail: poul.christiansen@teknologisk.dk

Dir. tlf.: 72 20 14 81  
E-mail: areh@teknologisk.dk

## Opmuring

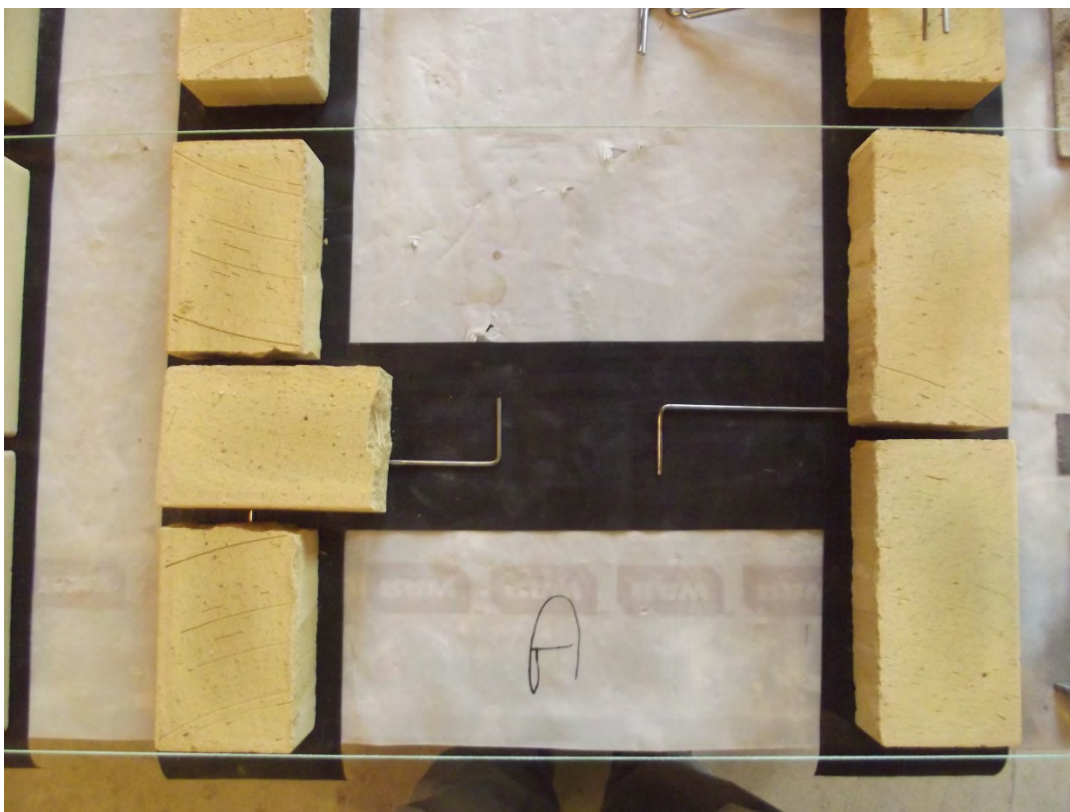


Foto 1. Start prøvelegeme A



Foto 2. Start prøvelegeme B



Foto 3. Start prøvelegeme C



Foto 4. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Afventer videre opmuring





Foto 5. Prøvelegeme B. Stående fortanding u. bindere. Afventer videre opmuring



Foto 6. Prøvelegeme C. Liggende fortanding. Prøvelegemer færdiggjort



Foto 7. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Opmuring fortsættes efter ca. 1 uge



Foto 8. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Opmuring kompliceres lidt af at der skal mures „under binder“



Foto 9. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Fugeske anvendes ved stående fortanding



Foto 10. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Opmuring fortsættes



Foto 11. Prøvelegeme A. Stående fortanding m. bindere. Fugeske anvendes ved stående fortanding



Foto 12. Prøvelegeme B. Stående fortanding u. bindere. Opmuring fortsættes efter ca. 1 uge. Fugeske anvendes ved stående fortanding



Foto 13. Prøvelegeme B. Stående fortanding u. bindere. Opmuring fortsættes efter ca. 1 uge. Fugeske anvendes ved stående fortanding



Foto 14. Prøvelegeme B. Stående fortanding u. bindere. Øverste skifte. Opmuring afsluttes

## Forsøg

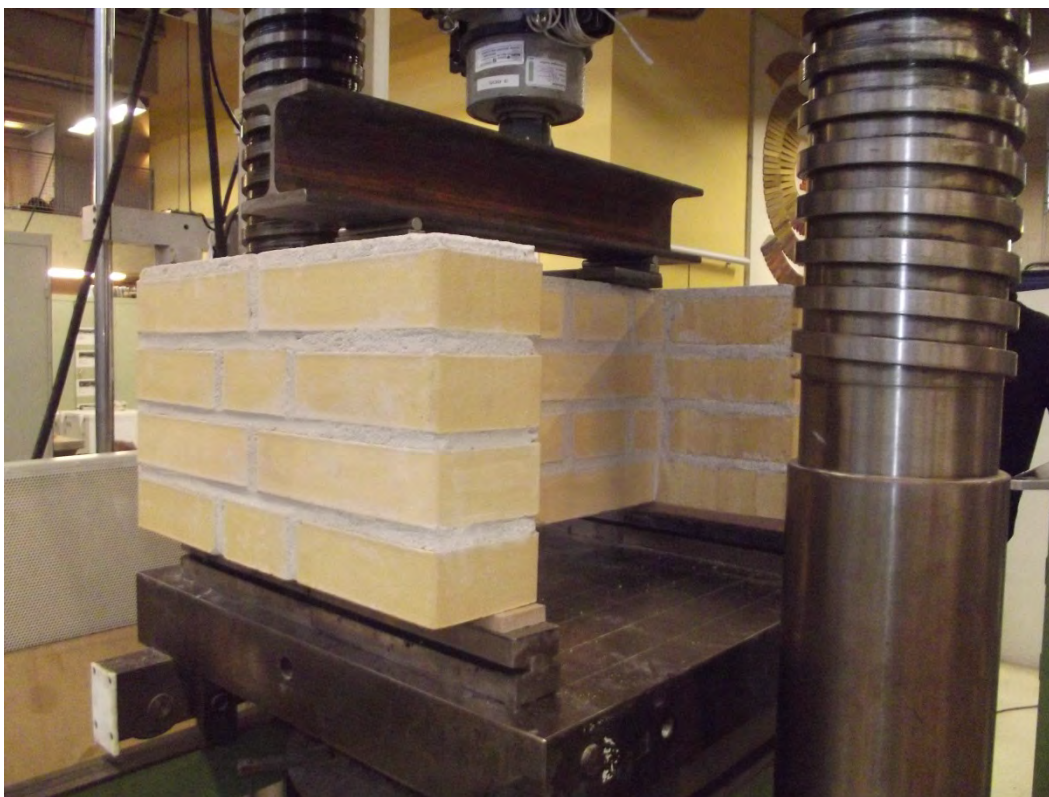


Foto 15. Forsøg Q. Opstilling

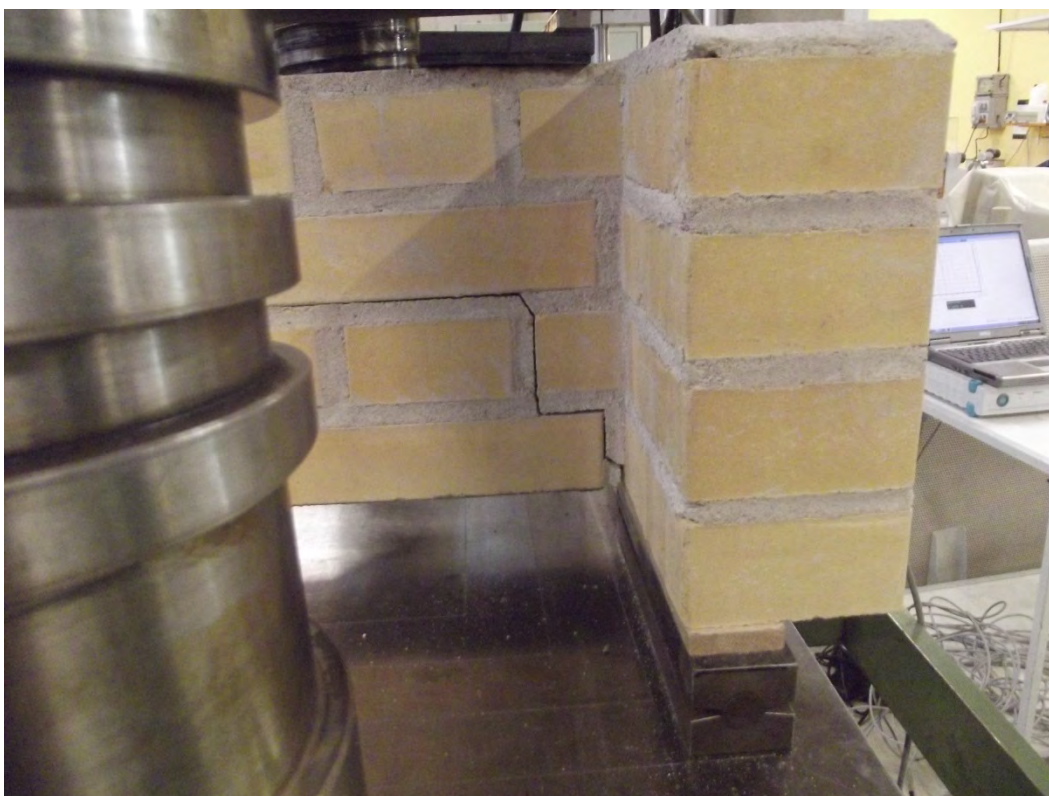


Foto 16. Forsøg Q. Alle brud former var stort identisk, startende i studsfuge mod tværvæg og krav-lende opad



Foto 17. Forsøg Q. Alle brudformer var stort identiske, startende i studsfuge mod tværvæg og krav-lende opad

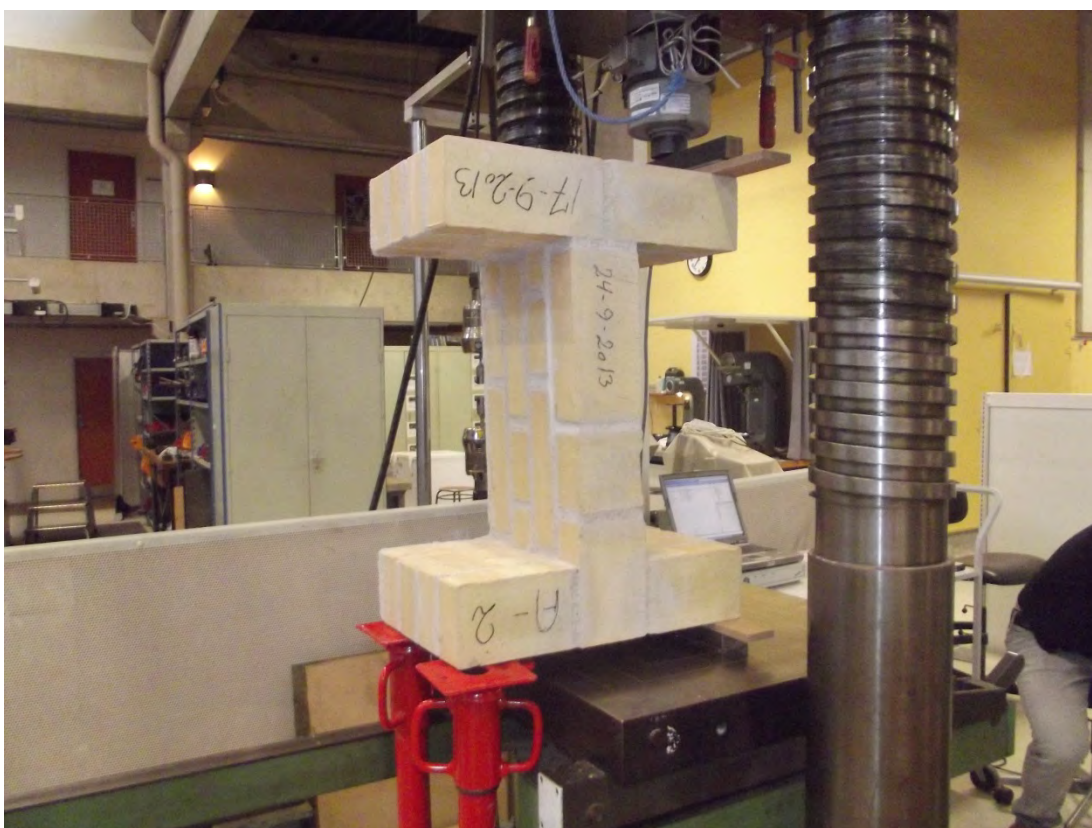


Foto 18. Forsøg M. Opstilling



Foto 19. Forsøg M. Opstilling i top

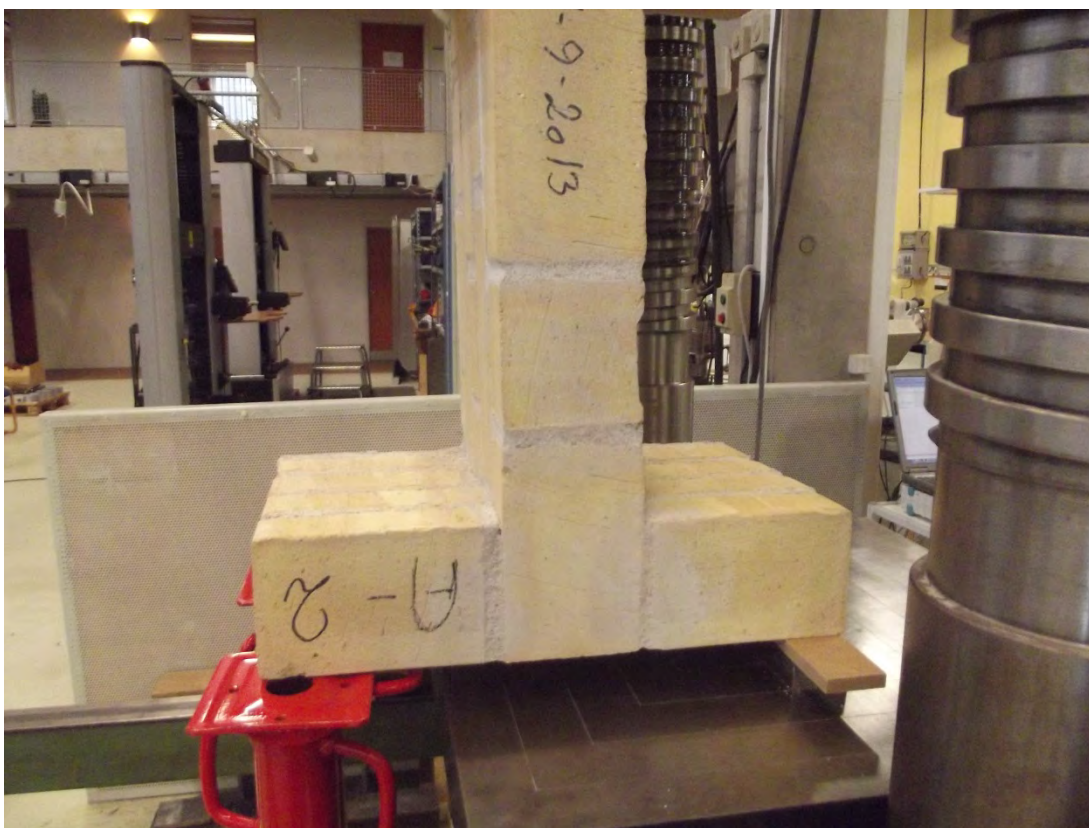


Foto 20. Forsøg M. Opstilling i bund





Foto 21. Brud M (A2). Brud uden for den stående fortanding



Foto 22. Brud M (B2). Brud uden for den stående fortanding



Foto 23. Brud M (C2). Brud i væg med liggende fortanding. Det ses, at bruddet sniger sig hen i området mod bagvæggen



Foto 24. Forsøg N. Lidt svært at se selve prøvelegemet

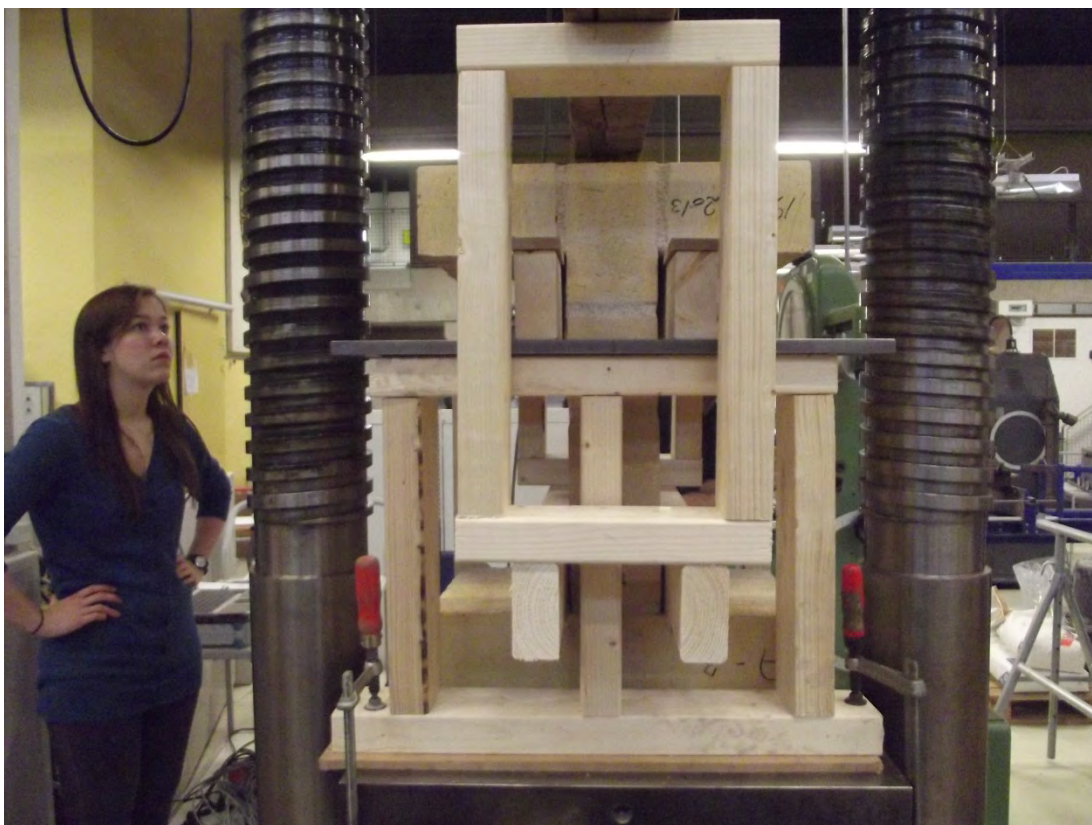


Foto 25. Forsøg N. Opstilling set fra siden. Vægfelt udsat for ren træk



Foto 26. Brud N (A3). I område uden for den stående fortanding



Foto 27. Brud N (B3): Kombineret i område i og udenfor den stående fortanding



Foto 28. Brud N (C3): I større område

2013-08-28  
0308/514149  
pdc/sol  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
72 20 20 00  
info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Forsøgsopstilling og -planlægning

**Mørtel:** Der anvendes KC60/40/850-vådmørtel

**Begrundelse:** Den undersøgte problemstilling er kun relevant for nybyggeri, og den svageste mørtel, der anvendes her, er normalt KC 60/40/850-våd. Forsøg med den svageste mørtel vil være konservativ, da en stærk mørtel vil give en vedhæftning der modsvarer binderens effekt.

**Sten:** Der anvendes en typesten som er stærkt sugende.

**Begrundelse:** Denne sten vil modsvare den aktuelle mørtel.

**Bindere:** Indlægges i hvert skifte som vist på figur 1.

Ø4 rustfast, 4 mm. Længde 180 mm (minimum 168 mm, hvor afstanden af bindere i den fri del er lig længden af den indmurede del).

Der indlægges tillige bindere i den 1. fuge (nederste) således, at antallet af bindere svarer til antallet af skifter. 1. fuge udføres på folie som fjernes efter hærkning. Folien behandles med formolie.

**Begrundelse:** Reglen i normen siger bindere pr. 3. skifte. Pga. stor usikkerhed i forsøg med murværk, søges denne usikkerhed reduceret ved anvendelse af bindere i hvert skifte således, at effekten af de indmurede bindere bliver tydeligere. Forholdene for bindere i hvert 3. skifte kan efterfølgende bestemmes ved konservativ interpolation.

Såfremt der i forsøgene (kun) anvendes bindere pr. 3. skifte bliver risikoen for stor for at brudværdierne for prøvelegemer med de indmurede bindere bliver lavere end brudværdier for prøvelegemer uden bindere, pga. forsøgsusikkerheden, hvorved forsøgsresultaterne ikke kan anvendes.

Ved beregning af reduktionen af styrkeforøgelsen fra bindere i hvert skifte til bindere i hvert 3. skifte tages skønsomt hensyn til det svagt afvigende lineære forløb stammende fra ændringer i vinklen på de indgående trykstringere, mindre værdi for  $h_i$ , etc.

### Prøvelegemer:

Der udføres et antal 4 skiftes H-tværsnit:

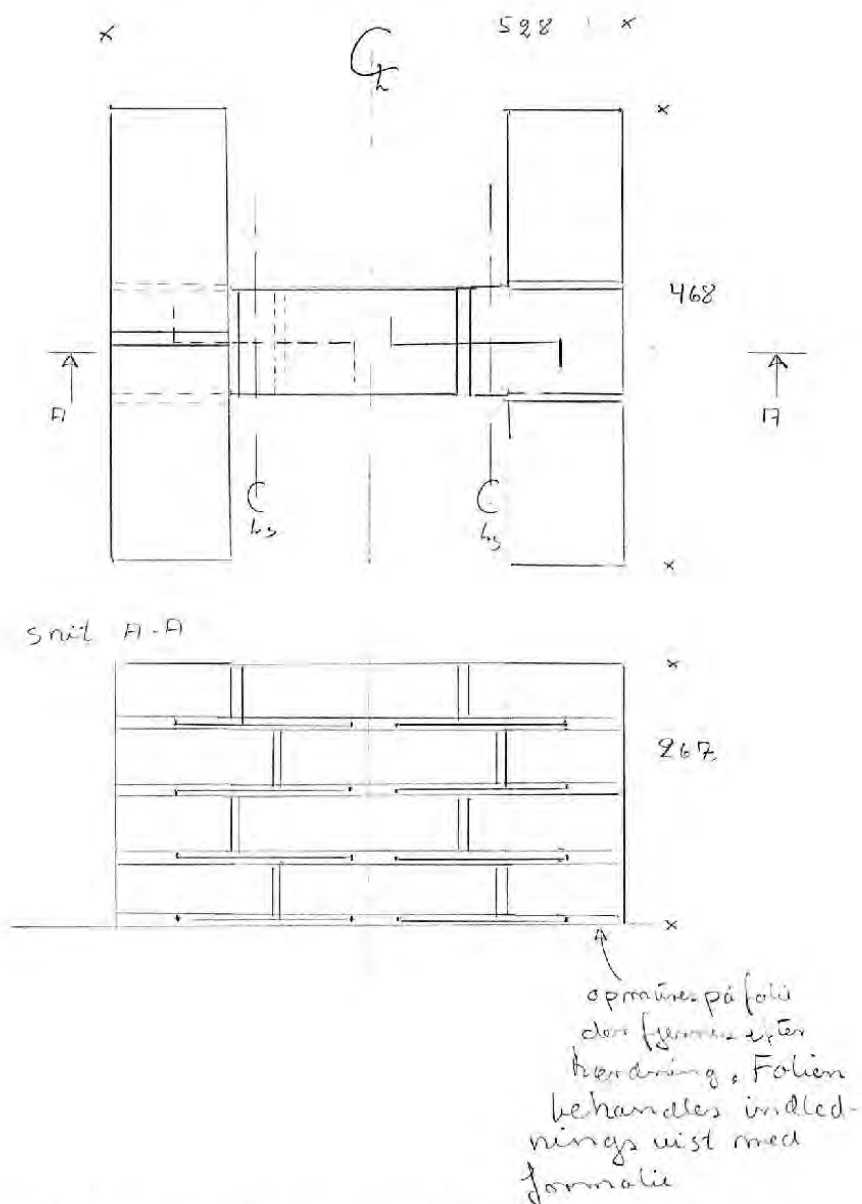
Type A – 4 med stående fortanding **med** bindere som vist på efterfølgende figur

Type B – 4 med stående fortanding **uden** bindere som vist på efterfølgende figur

Type C – 4 opmuret uden fortanding.

Der opmures således i alt 12 prøvelegemer:

2013-08-28  
514149  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte



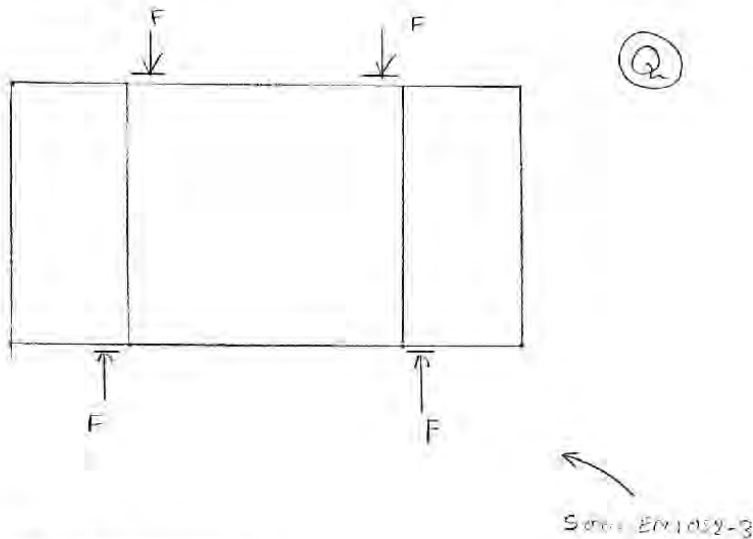
Figur 1. Provelegemer med fortanding og bindere (de øvrige provelegemer er ikke vist)

Et 1/4-stens forbandt skønnes mest svagt og dermed mest kritisk mht analysen. Dette forbandt er i øvrigt også det mest anvendte.

2013-08-28  
514149  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte

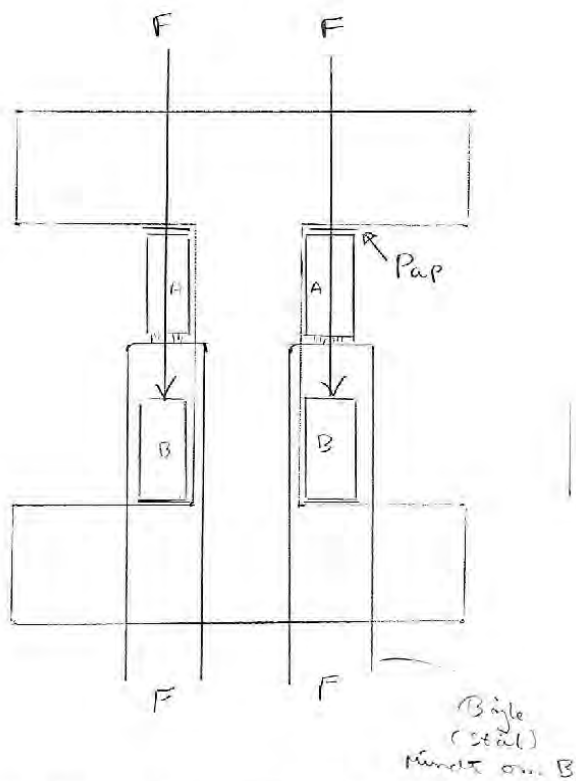
### Forsøg

1. 3 til Forskydnings-prøvning (m/u) bindere/stående fortanding + uden fortanding (Simulere skivevirkning med forskydningsoverførsel).
2. 3 til Træk-prøvning (m/u) bindere/stående fortanding + uden fortanding (Simulere vindsug på facade medførende reaktion i tværvæg).
3. 3 til Moment-prøvning (m/u) bindere/stående fortanding + uden fortanding (Simulere vindsug på facade medførende reaktion i tværvæg).
4. Endvidere opmures 10 triple-sten til forskydningstest iht EN 1052-3 ( $f_{vk0}$ ).
5. Endvidere opmures 10 nødder til bøjningsprøvning iht EN 1052-2 ( $f_{sk1}$ ).
6. Mørtelprøvning af mørtelblanding ( $f_m$ ).
7. Bestemmelse af ( $f_b$ ) eventuelt via deklaration eller producent.



Figur 2. Forskydningstest (Q)

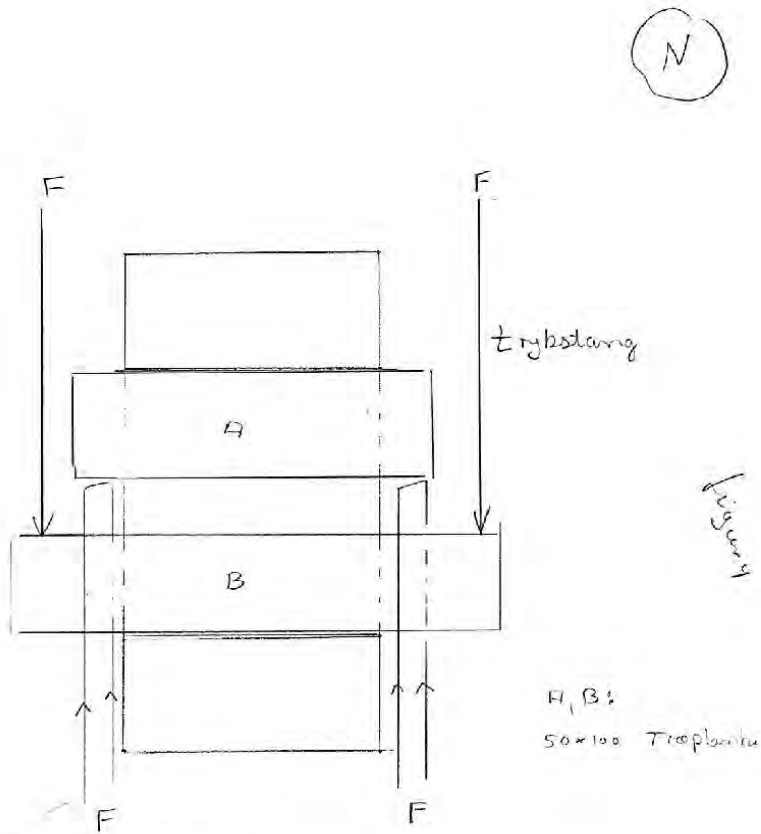
2013-08-28  
514149  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte



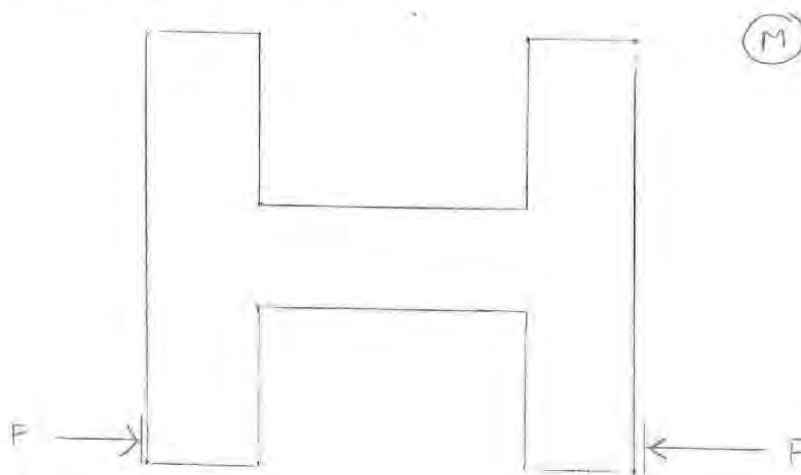
Figur 3. Træktest. I skillevæggens plan (N)



2013-08-28  
514149  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte



Figur 4. Træktest. Set vinkelret herpå (N)



Figur 5. Momenttest (M)

2013-08-28  
514149  
Analyse af normkrav vedr. bindere pr. 3. skifte

TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Alle vægge prøves til brud og værdier sammenlignes og analyseres ift. de normalt optrædende kræfter.

Aarhus, den 28. august 2013  
Teknologisk Institut, Murværk



Poul Christiansen

Dir. tlf.: 72 20 38 20  
E-mail: [pdc@teknologisk.dk](mailto:pdc@teknologisk.dk)



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Intern rapport

Ordre nr. 514149  
Side 1 af 1  
Bilag 0  
Initialer AREH/JRA

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
72 20 20 00  
info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Prøvningsrapport

Prøveemne: 6 nødder af gule type C sten. Mørtel KC60/40/850 vådmørtel.

Periode: Prøvningen blev gennemført 2013-10-16.

Resultater: Resultaterne fremgår af efterfølgende tabel.


| Prøve Nr          | Resultat [kg] | M/W [MPa] | N/F [MPa] | Fugestyrke [MPa] | Brud i % sten/skilleflade/mørtel |
|-------------------|---------------|-----------|-----------|------------------|----------------------------------|
| 1                 | 4,5           | 0,147     | 0,005     | 0,142            | / 40 / 60                        |
| 2                 | 4,1           | 0,138     | 0,005     | 0,133            | / 20 / 80                        |
| 3                 | 5,7           | 0,174     | 0,006     | 0,168            | / 20 / 80                        |
| 4                 | 5,8           | 0,176     | 0,006     | 0,170            | / 20 / 80                        |
| 5                 | 5,4           | 0,167     | 0,006     | 0,161            | / 30 / 70                        |
| 6                 | 5,1           | 0,160     | 0,006     | 0,155            | / 20 / 80                        |
| Middel            | 5,10          |           |           | 0,155            |                                  |
| Stand.afv.        | 0,68          |           |           | 0,015            |                                  |
| <b>Dekl værdi</b> |               |           |           | <b>0,113 MPa</b> |                                  |

Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2013-12-18, Teknologisk Institut, Murværk, Aarhus

  
Arash Ehtesham  
Civilingeniør

Direkte tlf.: +45 7220 1481  
E-mail: AREH@teknologisk.dk

  
Jørn Rasmussen  
Murer

Direkte tlf.: +45 7220 3840  
E-mail: JRA@teknologisk.dk

Prøvningsrapport - Nøddeknækkerprøve



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Intern rapport

Ordre nr. 514149  
Side 1 af 1  
Bilag 0  
Initialer AREH/JRA

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
72 20 20 00  
info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Prøvningsrapport

Proveemne: Mortel KC60/40/850, 28 døgns hærdning

Periode: Prøvningen blev gennemført 2013-10-16.

Metode: DS-EN 1015-11

Resultater: Resultaterne fremgår af efterfølgende tabel.  
Ved forsøgene anvendtes en belastningshastighed på 0,5mm/min.

### Densitet

| Emne   | Masse (g) | l (mm) | b (mm) | h (mm) | Densitet (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------|-----------|--------|--------|--------|-------------------------------|
| 1      | 421,9     | 159,4  | 38,6   | 40,0   | 1716                          |
| 2      | 420,8     | 159,1  | 38,5   | 39,9   | 1722                          |
| 3      | 422,4     | 159,2  | 37,5   | 40,0   | 1770                          |
| Middel |           |        |        |        | 1736                          |

### Bøjningstrækprøve

| Emne   | Brudlast (kN) | b (mm) | h (mm) | Styrke (MPa) |
|--------|---------------|--------|--------|--------------|
| 1      | 0,07          | 38,6   | 40,0   | 0,18         |
| 2      | 0,07          | 38,5   | 39,9   | 0,17         |
| 3      | 0,07          | 37,5   | 40,0   | 0,18         |
| Middel |               |        |        | 0,18         |

### Trykprøve

| Emne   | Brudlast (kN) | b (mm) | Styrke (MPa) |
|--------|---------------|--------|--------------|
| 1a     | 0,56          | 38,2   | 0,37         |
| 1b     | 0,60          | 38,2   | 0,39         |
| 2a     | 0,59          | 38,4   | 0,39         |
| 2b     | 0,58          | 38,5   | 0,38         |
| 3a     | 0,54          | 38,8   | 0,35         |
| 3b     | 0,61          | 38,6   | 0,40         |
| Middel |               |        | 0,38         |

Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2013-12-18, Teknologisk Institut, Murværk, Aarhus

  
Arash Ehtesham  
Civilingeniør

Direkte tlf.: +45 7220 1481  
E-mail: AREH@teknologisk.dk

  
Jørn Rasmussen  
Murer

Direkte tlf.: +45 7220 3840  
E-mail: JRA@teknologisk.dk

Prøvningsrapport -Mortelprøvning, 28døgn



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Intern rapport

Ordre nr. 514149  
Side 1 af 1  
Bilag 0  
Initialer AREH/JRA

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
72 20 20 00  
info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Prøvningsrapport

Proveemne: 6 triplesten af gule type C sten. Mortel KC60/40/850 vådmørtel.

Periode: Prøvningen blev gennemført 2013-10-17.

Metode: DS-EN 1052-3 Bestemmelse af begyndelsesforskydningsstyrke.

Resultater: Resultaterne fremgår af efterfølgende tabel.  
Prøvemaskine: Amsler 60t – med lastområde på 6 tons.  
Belastningshastighed på ca. 250kg/min.

| Proveemne   | Brudlast [kg] |
|-------------|---------------|
| 1           | 920           |
| 2           | 660           |
| 3           | 880           |
| 4           | 600           |
| 5           | 740           |
| 6           | 680           |
| Middelværdi | 747           |

$$f_{v0} = \left( \frac{9,81 \times 747}{108 \times 228 \times 2} \right)$$
$$= 0,1488 \text{ MPa}$$

$$f_{vk0} = 0,8 \times f_{v0}$$
$$= 0,119 \text{ MPa}$$

Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2013-12-18, Teknologisk Institut, Murværk, Aarhus

Arash Ehtesham  
Civilingeniør

Direkte tlf.: +45 7220 1481  
E-mail: AREH@teknologisk.dk

Jørn Rasmussen  
Murer

Direkte tlf.: +45 7220 3840  
E-mail: JRA@teknologisk.dk

Prøvningsrapport - forskydningsstet iht. 1052-3



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Intern Rapport

Ordre nr. 0308/514149  
Side 1 af 3  
Bilag 1  
Initialer AREH

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
72 20 20 00  
info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Prøvningsrapport

- Prøveemne: 12 murede prøvelegemer hvoraf 10 blev anvendt ved forsøg.
- Beskrivelse: Fremstillingsdatoerne for prøvelegemerne fremgår af bilag 1. Der blev fremstillet i alt 3 typer prøvelegemer:
- A. Stående fortanding med bindere.
  - B. Stående fortanding uden bindere.
  - C. Opmuret uden fortanding.
- Metode: Hver type prøvelegeme blev prøvet ved forskydning-, moment- og trækprøvning.
- Periode: Prøvningerne blev gennemført i perioden 2013-11-14 til 2013-12-04. Se bilag 1 for eksakte datoer.
- Resultater: Resultaterne fremgår af side 3.
- Opbevaring: Resterne fra forskydningsforsøgene er bortskaffet, da disse er faldet helt fra hinanden. Resten af prøvelegemerne opbevares på en palle og gemmes i 2 måneder.
- Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

---

2013-12-06, Teknologisk Institut, Murværk, Aarhus

Arash Ehtesham  
Civilingeniør

Direkte tlf.: +45 7220 1481  
E-mail: AREH@teknologisk.dk

514149 Prøvningsrapport - Stående fortanding

2013-12-06  
0308/514149

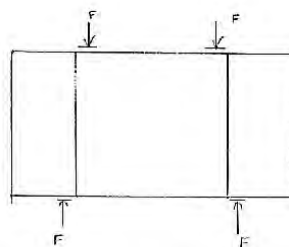
## Prøvningernes udførelse

Prøvemaskine: Amsler 500 ton/50 ton.  
Lastcelle: C2 10ton,  $\pm 0,2$  % usikkerhed.  
Belastningshastigheder: Forskydning – 200kg/min. Moment og træk – 100kg/min.

### Forskydningsprøvning



Billede 1. Forsøgsopstilling til forskydningsprøvning

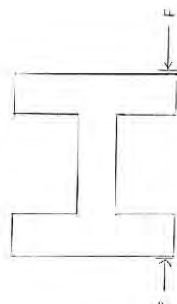


Figur 1. Principskitse – forskydning

### Momentprøvning



Billede 2. Forsøgsopstilling til momentprøvning

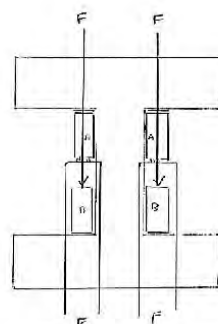


Figur 2. Principskitse – moment

### Trækprøvning



Billede 3. Forsøgsopstilling til trækprøvning



Figur 3. Principskitse – træk

2013-12-06  
0308/514149

TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Prøvningsresultater

Tabel 1. Brudlastværdier ved forskydning-, moment- og trækprøvning.

| Prøvelegeme | Prøvningstype | Brudlast [kN] |
|-------------|---------------|---------------|
| A1          | Forskydning   | 18,6          |
| B1          | Forskydning   | 13,3          |
| C1*         | Forskydning   | -             |
| C4          | Forskydning   | 14,2          |
| A2          | Moment        | 1,08          |
| B2          | Moment        | 1,06          |
| C2          | Moment        | 1,03          |
| A3          | Træk          | 2,94          |
| B3          | Træk          | 2,69          |
| C3          | Træk          | 2,01          |
| A4          | -             | -             |
| B4          | -             | -             |

\* Dette forsøg mislykkedes idet et momentbrud indtræf fremfor et forskydningsbrud. Efter dette forsøg blev der fastgjort et trækbånd af stål i undersiden af kroppen på de prøvelegemer, som skulle testes for forskydning. Dette stålband blev fastgjort med multiklæb og fik en hærdningsperiode på ca. 2 uger. Stålbåndet løb ikke i forskydningszonen.




2013-12-06  
0308/514149  
Bilag 1  
Side 1 af 1

TEKNOLOGISK  
INSTITUT

### Opmuringsdatoer og hærdningsperiode

Tabel 2. Opmuringsdatoer, hærdningsperiode og prøvningsdatoer for prøvelegeme.

|    | Flanger   | Kroppen   | Prøvningsdato | Hærdning<br>døgn | Hærdning<br>døgn |
|----|---|---|---------------|------------------|------------------|
|    |  |  |               | Flanger          | Kroppen          |
| A1 | 17-09-2013  | 24-09-2013  | 04-12-2013    | 78               | 71               |
| B1 | 17-09-2013  | 24-09-2013  | 04-12-2013    | 78               | 71               |
| C1 | 17-09-2013  | 17-09-2013  | -             | -                | -                |
| A2 | 17-09-2013  | 24-09-2013  | 14-11-2013    | 58               | 51               |
| B2 | 17-09-2013  | 17-09-2013  | 14-11-2013    | 58               | 58               |
| C2 | 17-09-2013  | 17-09-2013  | 14-11-2013    | 58               | 58               |
| A3 | 19-09-2013  | 25-09-2013  | 19-11-2013    | 61               | 55               |
| B3 | 19-09-2013  | 25-09-2013  | 19-11-2013    | 61               | 55               |
| C3 | 19-09-2013  | 19-09-2013  | 19-11-2013    | 61               | 61               |
| A4 | 19-09-2013  | 25-09-2013  | -             | -                | -                |
| B4 | 19-09-2013  | 25-09-2013  | -             | -                | -                |
| C4 | 19-09-2013  | 19-09-2013  | 04-12-2013    | 76               | 76               |

## Fra EC6design.com

Murværkets egen trækstyrke:

Nedenstående udtryk kan anvendes:

$$T_s = \text{Minimum} ((0,14 * \text{kvrod}(\text{stentrykstyrken}) * h * b * n), (\mu_d * \sigma + f_{vd0}) * b * \sigma_i))$$

hvor  $0,14 * \text{kvrod}(\text{stentrykstyrken})$  repræsenterer stenenes trækstyrke

$h$ ,  $b$  er højden og bredden på de anvendte sten

$n$  er antallet af sten i det snit som passerer det størst mulige antal studsfiger (her 2)

$\mu_d$ ,  $\sigma$  er den regningsmæssige friktion og normalspændingen i skifterne

$f_{vd0}$  er den regningsmæssige kohæsion

$\sigma_i$  er den mindste samlede længde af liggefuger der undergår et forskydningsbrud, når de 5 øverste skifter samlet udsættes for et trækbrud

Første led i udtrykket repræsenterer et trækbrud gennem stenene og studsfigerne. 2. led repræsenterer et brud alene gennem fugerne. Der regnes ikke med nogen trækcapacitet i studsfigerne. Mindste værdi anvendes.

Et ubelastet ( $\sigma = 0$ ) vægfelt med et forbandt med overliggende studsfiger i hvert andet skifte har mindst bæreevne. Her fås med  $f_b = 42$  MPa, sten i normalformat og:

$$f_{v0} = 0,149 \text{ MPa,}$$

$$f_{vk0} = 0,119 \text{ MPa,}$$

$$f_{vd0} = 0,119 \text{ MPa}/1,7,$$

$$= 0,07 \text{ MPa,}$$

$$\begin{aligned} T_{s,middel} &= \text{Minimum}(0,14 * \text{kvrod}(42) * 55 * 108 * 2, (0,149 * 108 * 240)) \\ &= \text{Minimum}(10,8 \text{ kN}, 3,86 \text{ kN}) \\ &= 3,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

Det ses af beregningen, at brud gennem sten ikke er aktuel. Dette observeres tillige ifm de aktuelle brud i laboratoriet. I de 2 efterfølgende beregninger ses der bort fra denne mulighed

$$\begin{aligned} T_{s,karakteristisk} &= (0,113 * 108 * 240) \\ &= 2,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s,regningsmæssig} &= (0,066 * 108 * 240) \\ &= 1,71 \text{ kN} \end{aligned}$$