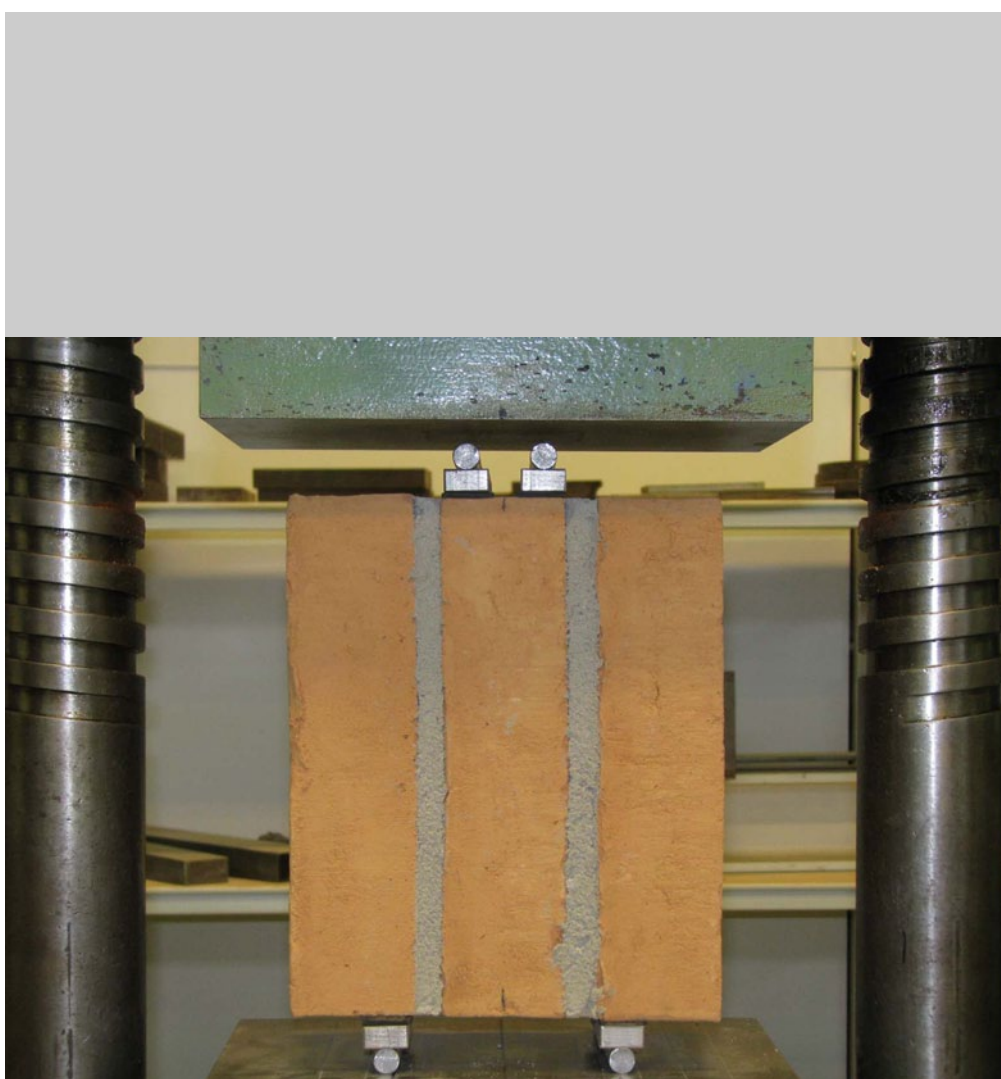


SBi 2010:10

Balanceret murværk

Forskydnings- og vridningsforsøg med murværk



Balanceret murværk

Forskydnings- og vridningsforsøg med murværk

Klavs Feilberg Hansen

Titel	Balanceret murværk
Undertitel	Forskydnings- og vridningsforsøg med murværk
Serietitel	SBi 2010:10
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2010
Forfatter	Klavs Feilberg Hansen
Sprog	Dansk
Sidetæl	14
Litteratur- henvisninger	Side 14
Emneord	Balanceret murværk, forskydningsforsøg, vridningsforsøg, mørtelfuger, sten, mørtelbrud
ISBN	978-87-563-1418-3
Fotos	Klavs Feilberg Hansen
Omslag	Foto: Klavs Feilberg Hansen
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBi 2010:10: Balanceret murværk. Forskydnings- og vridningsforsøg med murværk. (2010)*

Forord

Forskydningsforsøg benyttes til at bestemme murværks forskydningsegenskaber. På SBI er der udviklet en ny metode til at bestemme de samme egenskaber.

Metoden peger på, hvordan sten og mørtelegenskaberne i murværk kan afpasses i forhold til hinanden, således at et brud forløber i mørtelfugerne uden at stenene revner. Dette kaldes et 'balanceret murværk'.

Denne rapport sammenligner den nye forsøgsmetode med den traditionelle metode.

Arbejdet er udført med støtte fra Martha og Paul Kern-Jespersen Fonden og fra Murersektionen i Dansk Byggeri.

Statens Byggeforskningsinstitut
Byggeri og sundhed
Juni 2010

Niels-Jørgen Aagaard
Forskningschef

Indhold

Forord	3
Indhold	4
Indledning	5
Formål	5
Materialer	5
Forsøgsopstillinger	6
Vridningsprøvning	7
Beregningsmetoder	8
Forsøgsresultater	9
Diskussion af forsøgsresultater	11
Sammenligning af forskydningsforsøg med vridningsforsøg	11
Vridningsforsøg og murværks bøjningstrækstyrke	12
Referencer	14

Indledning

Ved balanceret murværk forstås murværk hvor sten og mørtelegenskaber er afpasset således i forhold til hinanden, at et brud forløber i mørtelfugerne uden at stenene revner.

Den i rapporten beskrevne vridningsprøvning er udformet med henblik på at resultaterne fra en prøvning kan afgøre om en given sten- mørtelkombination fører til balanceret murværk når murværket påvirkes til bøjning om studsfigurerne.

Rapporten beskriver to forsøgsserier, 90 forsøg med forskydningsprøvning af en liggefuge mellem 2 sten og 90 forsøg med vridningsprøvninger af en liggefuge mellem 2 sten. Begge seriers forsøgsemner indeholder de samme 15 sten-mørtelkombinationer svarende til at der er udført 6 gentagelsesforsøg med hver kombination. Alle forsøgsemner er opmuret af samme murer. Forskydningsforsøgene er udført af Murværkscentret TI i overensstemmelse med (EN 1052-3) mens vridningsforsøgene er udført i SBI's laboratorium i overensstemmelse med en metode som er beskrevet i [3].

Formål

Et formål med forsøgene var at foretage en sammenligning af resultaterne fundet ved forskydningsforsøg med resultaterne fra vridningsforsøg med henblik på at erstatte/supplere forskydningsprøvning med vridningsprøvning.

Et andet formål var at undersøge om vridningsforsøg kan erstatte/supplere forsøg med minivægge således, at resultaterne fra vridningsforsøgene kan benyttes til at bestemme murværkets bøjningsstyrke om en lodret akse, herunder om forsøgsemnet kan udformes således at forsøgsresultaterne direkte viser om den pågældende sten- mørtelkombination fører til balanceret murværk. Den i denne rapport valgte udformning af vridningsforsøget er et første bud.

Materialer

De 15 sten- mørtelkombinationer er fremkommet ved at parre 3 stentyper (sten A, sten B og sten C) med 5 mørteltyper (Maxit 2½, Maade, Vejle, He-dehusene, Wevers). Stenenes egenskaber er angivet i tabel 1.

Tabel 1. Stentyper.

Type	Mærke	Minut sug kg/m ²	Trykstyrke N/mm ²
Rose blødstrøgne Vedstrårup	A	1,2	33
Gule maskinsten Gandrup	B	1,9	62
Gule maskinsten Vindø	C	3,0	40

Mørtlernes egenskaber er angivet i tabel 2.

Tabel 2. Mørteltyper.

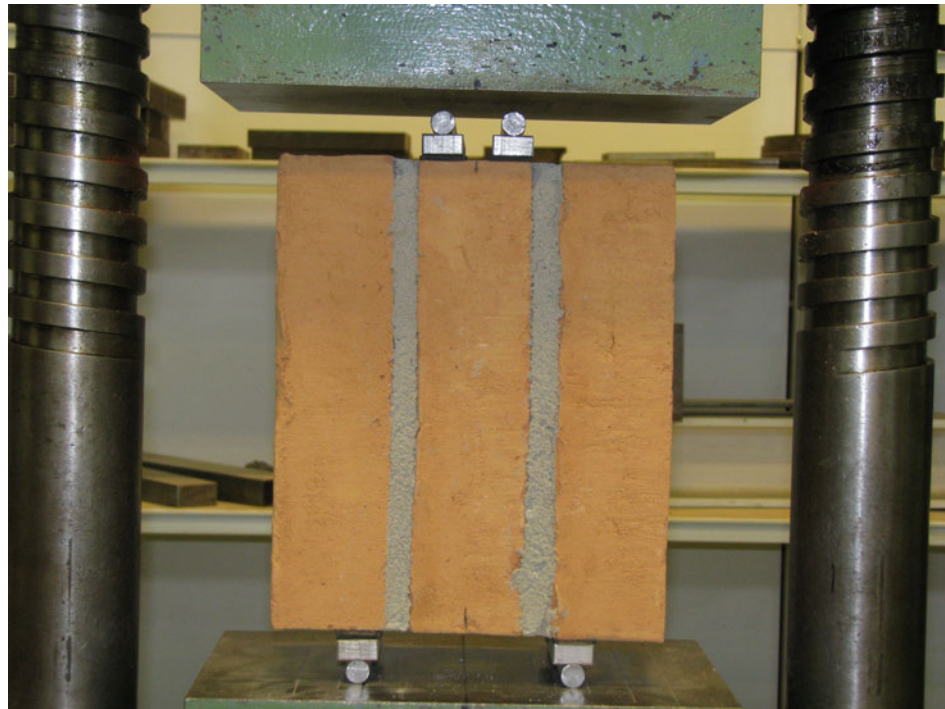
Mørtel-type	Værk	Vand-indhold %	Bøjnings-trækstyrke N/mm ²	Tryk styrke N/mm ²
Tør 2½	Maxit	12,3	1,22	3,1
Våd	Måde	19,3	0,97	2,9
Våd	Vejle	20,8	0,98	2,4
Våd	Hedehusene	22,0	0,78	2,6
Våd	Wevers	20,3	0,96	2,9

Tørmørtlen er en funktionsmørtel. Alle vådmørtlerne (6,6 % bakkemørtel 0- 4 mm) er blandet med Mestercement til KC50/50/700.

Forsøgsopstillinger

Forskydningsprøvning

På figur 1 er vist et foto af forsøgsopstillingen ved forskydningsprøvning.

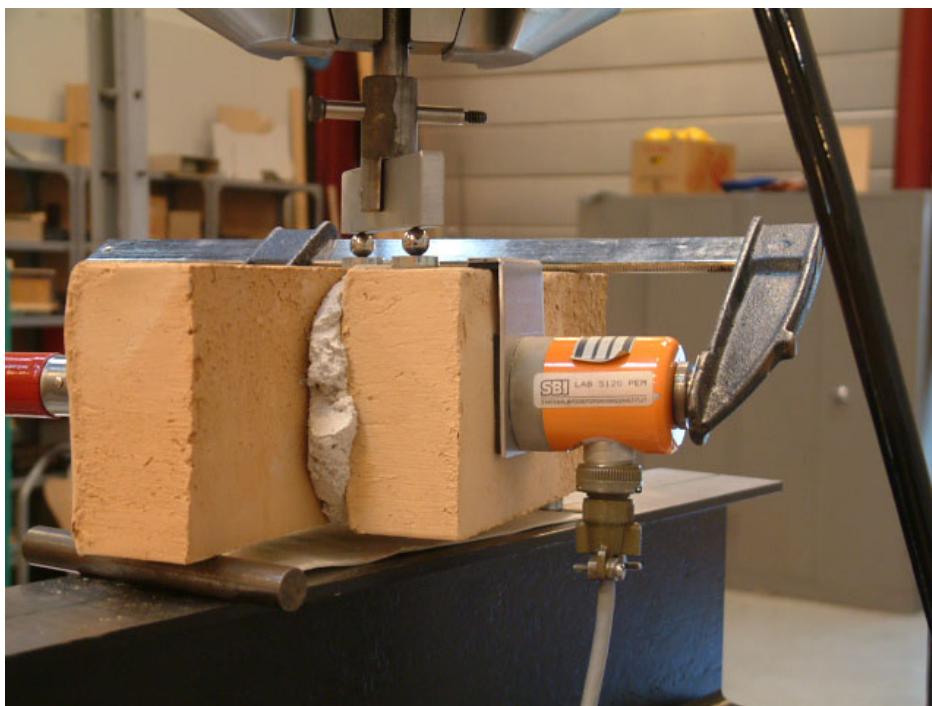


Figur 1. Forsøgsopstilling ved forskydningsprøvning.

Forsøgsemnet består af 3 sten muret sammen med 2 mørtelfuger. Som vist består belastningen af 4 lige store lodrette linielaste som medfører at de 2 mørtelfuger påvirkes af lodrette forskydningskræfter og et 'lille' moment, men ikke af nogen resulterende normalkraft.

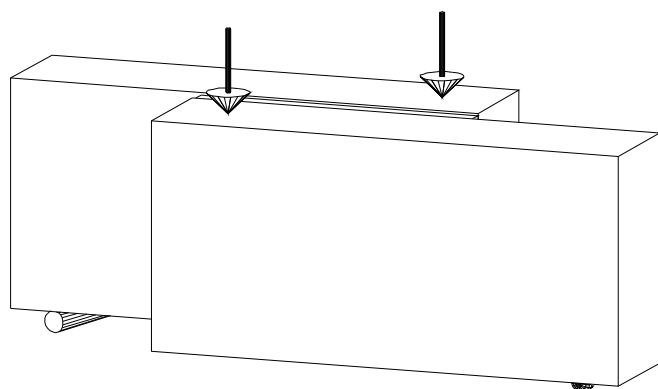
Vridningsprøvning

På figur 2 er vist et foto af forsøgsopstillingen ved vridningsprøvning.

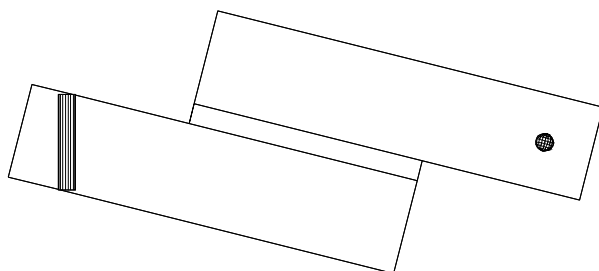


Figur 2. Forsøgsopstilling ved vridningsprøvning.

Forsøgsemnet består af 2 sten muret sammen med en mørtelfuge. På figur 3 er opstillingen vist som stregtegning som tydeligere viser hvordan forsøgsemnet belastes.



Forsøgsemne set nedefra



Figur 3. Kræfter og understøtning af vridningsemne.

Hver sten bliver belastet af 2 lige store modsat rettede kræfter, som søger at dreje stenene hver sin vej, men hindres derved af liggefugen. Liggefugen bliver på denne måde kun påvirket af et vridningsmoment svarende til mo-

mentet fra de 2 modsat rettede kræfter på en sten. Som vist på figur 2 kan fugen også belastes med en normalkraft ligesom man kan ændre længden af mørtelfugen.

Beregningsmetoder

Ved forskydningsprøvning sker bruddet altid i en af de 2 mørtelfuger. Da opstillingen er symmetrisk om en lodret plan midt i midterste sten vil et brud ske i den svageste fuge og opstillingen måler derfor styrken af den svageste af 2 fuger. Det er imidlertid ikke selve denne kraft man er mest interesseret i, men hvad man kan udlede om fugens forskydningsstyrke ud fra størrelsen af denne kraft. Den simpleste beregningsmodel efter hvilken man kan bestemme forskydningsstyrken fås ved at forudsætte at forskydningsspændingen er jævnt fordelt. Med denne forudsætning fås forskydningsstyrken ved at dividere forskydningskraften med fugens areal. Denne forudsætning passer ikke særligt godt med de fordelinger man finder ved en FEM beregning af forsøgsemnet, men den giver en nedre og derfor sikker værdi for forskydningsstyrken af fugen.

Ved vridningsprøvning kan bruddet enten ske i mørtelfugen eller ved at en af stenene knækker. Med henblik på at opnå balanceret murværk betyder et brud, hvor en af stenene knækker, at den pågældende sten-mørtelkombination ikke fører til balanceret murværk og man må enten vælge en svagere mørtel eller en stærkere sten.

I det følgende forudsættes det at bruddet sker i mørtelfugen. Bruddet er et vridningsbrud og det der måles er det maksimale vridningsmoment fugen kan overføre. I modsætning til forskydningsbruddet kan man opstille flere forskellige teoretisk begrundede simple beregningsmodeller til bestemmelse af fordelingen af forskydningsspændingerne i fugen. Resultater fra disse beregningsmodeller og resultater fra FEM beregninger afviger ikke særlig meget fra hinanden [4]. Det betyder at det er mindre vigtigt hvilken der vælges. Her er valgt at forskydningsstyrken bestemmes af formlen

$$\tau = \frac{2M_v}{b^2(a-b/3)} \quad (1)$$

hvor τ er forskydningsstyrken, M_v er det maksimale vridningsmoment, b fugens bredde (108 mm) og a er fugens længde (135 mm). Denne formel er baseret på en plastisk model af fugen og må derfor antages at give forskydningsstyrker som er på den sikre side.

Forsøgsresultater

I tabel 3 er resultaterne af de udførte forsøg angivet.

Tabel 3. Resultater af forskydnings- og vridningsforsøg (6 gentagelser).

Sten- mørtel kombination	Forskydning		Vridning		
	Middel-værdi forskydningsstyrke	Variations-koefficient	Middelværdi maksimalt vridningsmoment	Middelværdi forskydningsstyrke	Variations-koefficient
	N/mm ²	%	Nm	N/mm ²	%
A- Maxit 2½	0.55	17	540	0.94 ¹⁾	–
B- Maxit 2½	0.51	12	562	0.99	11
C- Maxit 2½	0.41	18	371	0.62 ¹⁾	–
A- Maade	0.54	12	426	0.68 ²⁾	1.8
B- Maade	0.43	16	334	0.57	3.9
C- Maade	0.33	16	268	0.43	8.3
A- Vejle	0.51	8.4	339	0.57 ²⁾	4.3
B- Vejle	0.46	13	285	0.52	9.4
C- Vejle	0.37	11	246	0.43	13
A- Hedehusene	0.44	19	357	0.56 ²⁾	7.7
B- Hedehusene	0.41	15	299	0.52	6.7
C- Hedehusene	0.28	22	256	0.45 ²⁾	3.5
A- Wevers	0.49	5.7	473	0.80 ¹⁾	–
B- Wevers	0.43	11	354	0.62	8.2
C- Wevers	0.34	22	266	0.44 ²⁾	9.7
Gennemsnit	0.43	14.5	358	0.94	7.3

¹⁾ I 3 eller flere forsøgsemner skete bruddet i stenen. Middelværdien er bestemt af resultaterne fra forsøgene, hvor bruddet skete i mørtelfugen.

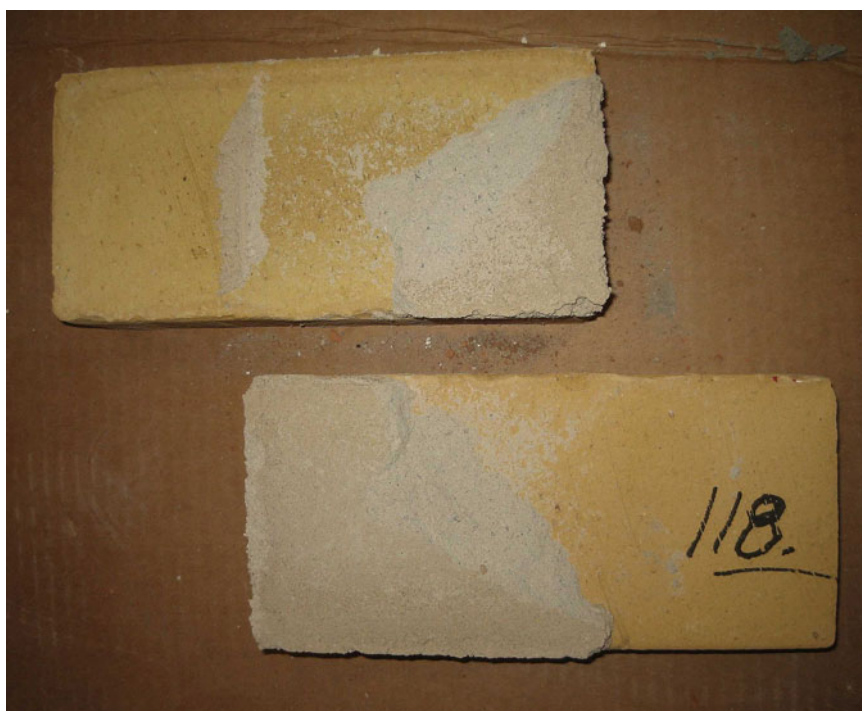
²⁾ I et af forsøgsemnerne skete bruddet i stenen. Middelværdien og spredningen er bestemt fra resultaterne af de 5 forsøg hvor bruddet skete i mørtelfugen.

På figur 4 er vist typiske brudformer ved forskydningsforsøg.



Figur 4. Typiske brudformer ved forskydningsforsøg.

På figur 5 er vist en brudform ved vridningsforsøg.

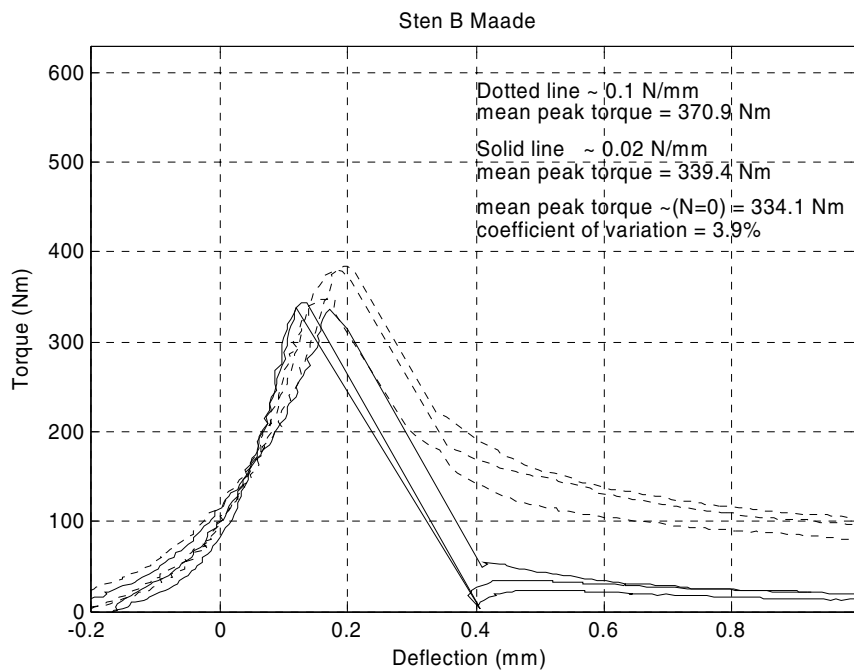
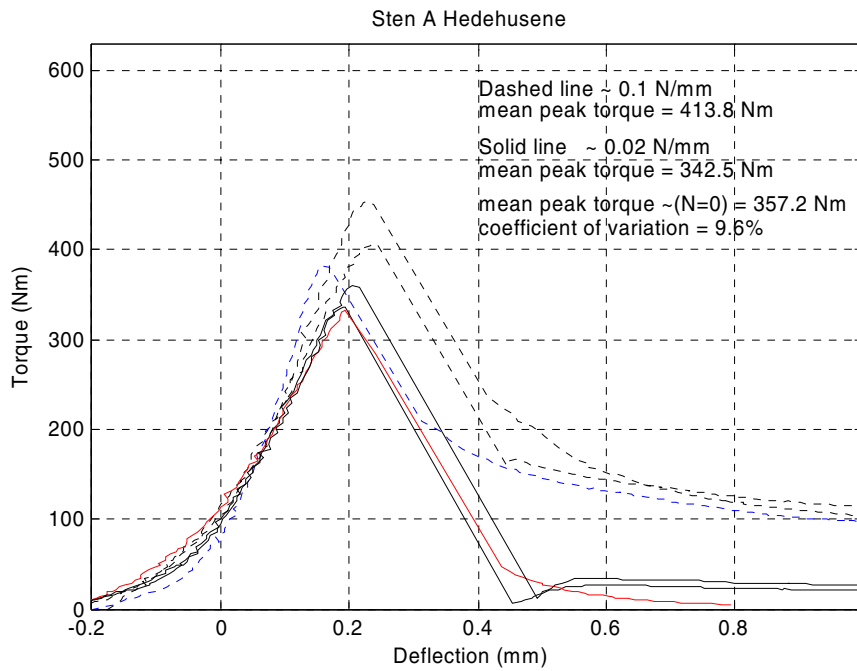


Figur 5. Brudform ved vridningsforsøg.

Ved forskydningsforsøgene målttes kun den maksimale forskydningskraft som emnet kunne overføre.

Ved vridningsforsøgene blev sammenhørende værdier af last og deformation målt.

Figur 6 indeholder kurver for vridningsforsøg fra 2 af de 15 forskellige sten- mørtelkombinationer. Små ujævnheder i stenenes overflade, som først skal udlignes (knuses), bevirker at første del af en kurve ikke er repræsentativ for forsøgsemnets opførsel. Kurverne er derfor forskudt sådan at de på hvert kurveblad er sammenfaldende ved et vridningsmoment på omkring 150 Nm, hvorefter effekten af ujævnhederne forventes at være forsvundet.

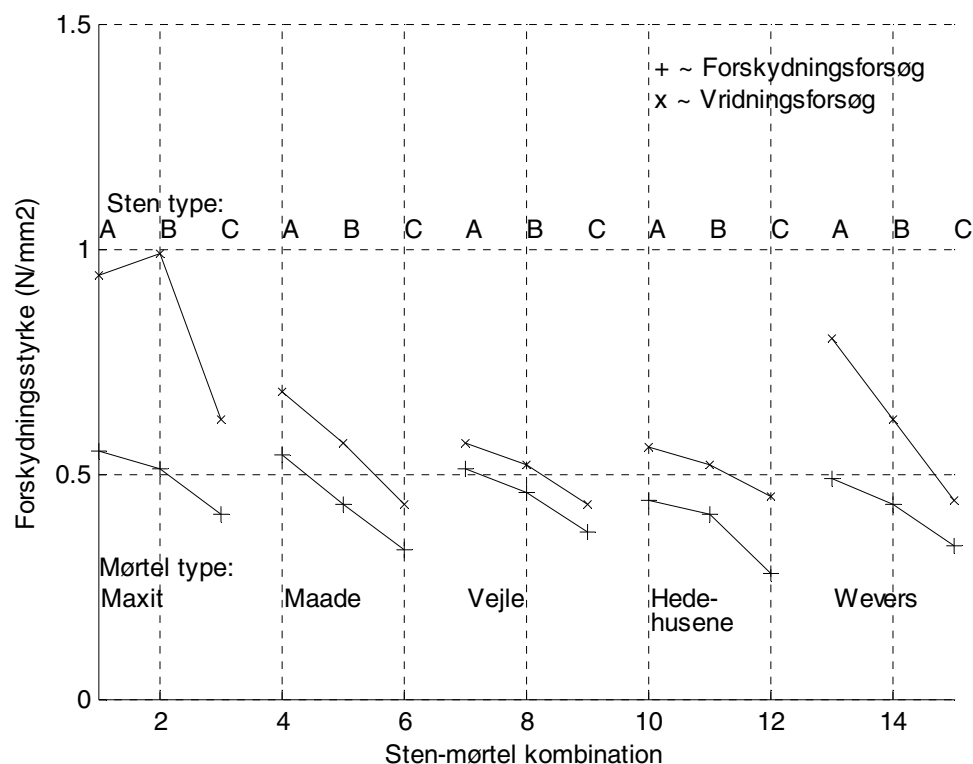


Figur 6. Arbejdslinier for 2 sten- mørtelkombinationer.

Diskussion af forsøgsresultater

Sammenligning af forskydningsforsøg med vridningsforsøg

På figur 7 er størrelsen af forskydningsstyrkerne, bestemt ud fra resultaterne fra forskydnings- og vridningsforsøg, vist grafisk.



Figur 7. Resultater fra forskydnings- og vridningsforsøg.

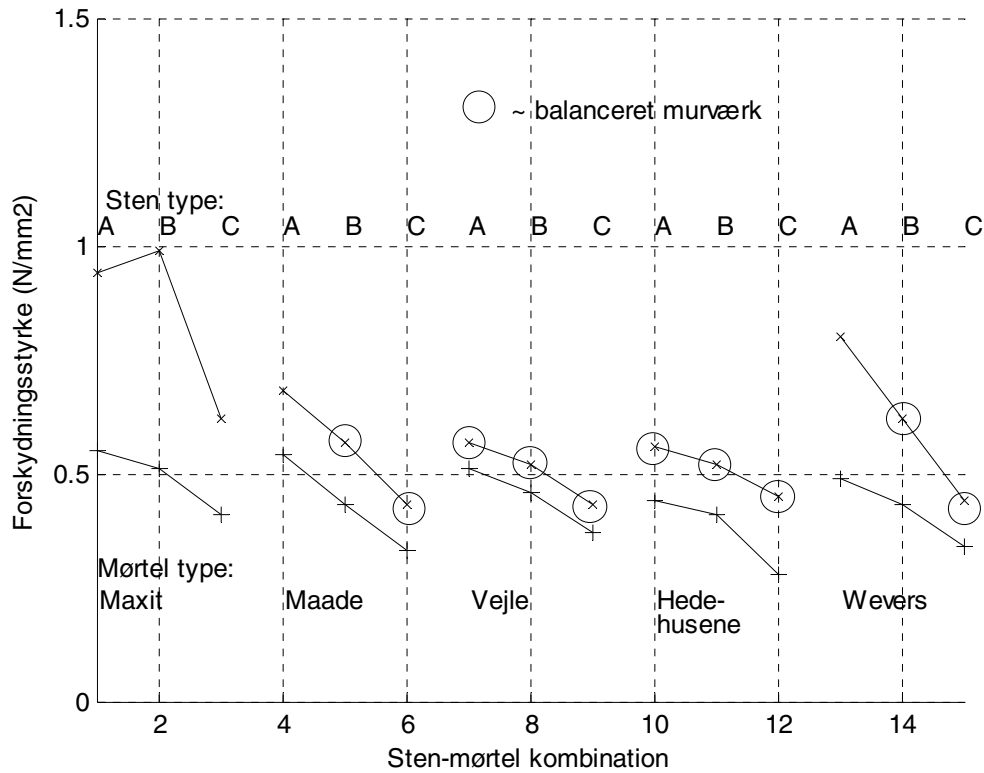
Det ses at forskydningsstyrkerne fundet ved forskydningsforsøg stort set varierer på samme måde som forskydningsstyrkerne fundet ved vridningsforsøg. Det ses også at vridningsforsøgene giver højere forskydningsstyrker end forskydningsforsøgene hvilket forklares ved at formlen til bestemmelse af forskydningsstyrken ved forskydningsforsøg er mere på den sikre side end formlen til bestemmelse af forskydningsstyrken ved vridningsforsøg. Noget af forskellen skyldes også at resultatet af et forskydningsforsøg repræsenterer styrken af den svageste af 2 mørtelfuger.

Betragtes variationskoefficienten for hver sten- mørtelkombination (tabel 3) ses det at forskydningsforsøgene i gennemsnit giver 14,5 % mens vridningsforsøgene i gennemsnit giver 7,3 %. Denne ret markante forskel, som peger på at vridningsforsøgenes reproducerbarhed er klart bedre end forskydningsforsøgenes, kan muligvis forklares ved at der er kærvvirkning i mørtelfugens ender i forskydningsforsøgsemnerne som følge af den måde belastningen påføres. Dette medfører at den samlede forskydningskraft som fugen kan overføre bliver afhængig af forholdene i små områder nær mørtelfugens ender og dette vil alt andet lige føre til en øget spredning på resultaterne. I vridningsforsøgene optræder der ikke en tilsvarende kærvvirkning.

Vridningsforsøg og murværks bøjningstrækstyrke

Tanken med vridningsforsøget er at det skal udformes således at hvis det resulterer i et mørtelbrud vil et minivægsforsøg med samme sten- mørtelkombination også resultere i et mørtelbrud uden at der optræder stenbrud. I dette tilfælde kan bøjningsstyrken om studs-fugerne findes ud fra resultaterne af vridningsforsøgene ved hjælp af sumformlen (se [1] og [3]). Hvis vridningsforsøget derimod resulterer i et stenbrud vil minivægsforsøget også resultere i at der optræder stenbrud. I dette tilfælde kan man ikke benytte resultatet fra vridningsforsøget til at finde bøjningsstyrken men man må i stedet konkludere at den pågældende sten- mørtelkombination ikke fører til balanceret murværk. Hvis dette skal opnås med den valgte sten må man anvende en svagere mørtel.

Den i denne rapport anvendte udformning af vridningsforsøget er afledt af forsøg med 1 sten- mørtelkombination med hvilken der både er udført vridningsforsøg og bøjningsforsøg. Forsøget med denne kombination som resulterede i mørtelbrud ved vridningsforsøgene og tegn på stenbrud ved bøjningsforsøgene tyder på at den anvendte udformning af vridningsforsøget ret sikkert kan bruges til at afgøre når en given sten- mørtelkombination ikke fører til balanceret murværk. Ud fra dette vil man derfor forvente at kun de med cirkel markerede sten- mørtelkombinationer i figur 8 vil føre til balanceret murværk.



Figur 8. Klassificering af sten- mørtelkombinationer.

Referencer

- [1] Hansen, K. F. (2006). *Murværk opmuret med vådmørtler. Demonstrationsprojekt.* (SBI 2006:13). Statens Byggeforskningsinstitut: Hørsholm.
- [2] Hansen, K. F., Nykänen, E. and Gottfredsen, F.R. (1998). *Shear behaviour of bed joint at different levels of precompression.* *Masonry International* 12, (2), 1998.
- [3] Hansen, K. F. and Pedersen, C. M. (2008). *Torsion testing of Bed Joints.* I: *Masonry International*, Vol. 21, No 1, 2008.
- [4] Hansen, K. F. and Pedersen, E. S. (2009). *Shear and torsion testing of brick-mortar joints.* I: *Masonry International*, Vol. 22, No 2, 2009.

Balanceret murværk er, når mursten og mørtelfuge er afpasset efter hinandens styrker og egenskaber. Når det forhold er i orden, sker der kun brud i mørtelfugen og ikke i stenen.

I rapporten beskrives en metode til at finde frem til den rette kombination mellem mørtel og fuge

Forsøg med sten-mørtelkombinationer viser, at man kan nøjes med kun at lave vridningsforsøg til erstatning for både forskydningsforsøg og forsøg med minivægge, når man skal bestemme forholdet mellem sten og mørtel.

Det betyder en meget enklere fremgangsmåde, for metoden kan bruges direkte i en standardprøvemakine.

1. udgave, 2010

ISBN 978-87-563-1418-3