

Hur valet av bruk påverkar sprickbildningen i tegelmurverk



Fredrik Nordbladh

**Uppsats för avläggande av högskoleexamen i
Kulturvård, Bygghantverk**

7,5 hp

2013

**Institutionen för Kulturvård
Göteborgs universitet**



Innehåll

Inledning	3
Bakgrund	4
Problemformulering	5
Syfte	5
Frågeställning	5
Befintlig kunskap	6
Material till undersökningen	7
Tegel (se bifogade produktdatablad)	7
Webers bruk	8
Avgränsning	9
Metod	9
Försöksbeskrivning	9
Materialval till försöket	10
Volymförändring av olika träslag	10
L-järn i stål	11
Epoxi	11
Verktyg och attiraljer	11
Undersökning	12
Resultat	14
Slutdiskussion	16
Diskussion av metoden	16
Diskussion av resultaten	16
Käll- och Litteraturförteckning	18
Muntliga källor	18
Tryckta källor och litteratur	18
Bilaga 1	19
Frågor till Rolf Blank (utvecklingsingenjör på Weber)	19
Bilaga 2:frågor till Miklós Molnar och Tomas Gustavsson	24
svar Miklos:	24
och kompletteringar från Tomas:	24

Inledning

I mitt examensarbete har jag intresserat mig för hur valet av bruk påverkar vilken väg som sprickor tar i ett murverk som utsätts för dragbelastning. I valet av ämne har jag samarbetat med Tomas Gustavsson och Miklos Molnar från Lunds Tekniska Högskola. Jag har även fått råd och hjälp med att välja material av Rolf Blank (utvecklingsingenjör på Weber) och Bengt Beverin (Sverigechef Wienerberger). De har också tillhandahållit material till försöket och svarat på mina frågor (som redovisas som bilaga 1 & 2).

Jag har valt att ha ett samarbete med materialleverantörer från byggbranschen och med andra kompetenser än min egen. Min utbildning har gett mig stora kunskaper om traditionella metoder och material men ganska litet om vad de kommersiella produkterna egentligen innehåller. En drivkraft hos mig har varit att som hantverkare få en närmare kontakt med de produkter som finns i handeln och hitta ett yrkesmässigt förhållningssätt till dem.

Min undersökning är begränsad och ska ses som en pilotstudie till en större undersökning av brukssorter och tegel. Mitt mål med undersökningen har varit att testa en metod som ger konkreta provresultat av sprickor i murar. Metoden kan utifrån den här pilotstudien förfinas och undersökningsmaterialet breddas. Jag hoppas att slutdiskussionen ska ge kunskap för att ställa ”rätt” frågor om man skulle företa sig en större undersökning. Samtliga bilder i det här arbetet är tagna av författaren om inget annat anges.



Exempel på genomgående spricka där bruket är starkare än fogen.



Exempel på spricka som följer fogen därför att bruket är svagare än stenen.

Bakgrund

Äldre, traditionellt murade tegelkonstruktioner utfördes normalt med kalkbruk, vilket innebar att fogarna hade låg hållfasthet i jämförelse med teglet. Detta medförde bl.a. att murverket fick stor deformationskapacitet jämfört med moderna skalmurskonstruktioner. Principen i traditionellt murande har varit att fogen ska vara svagare än stenen. I äldre massiva murar går det ibland att se hur sprickor och lagningar som uppstått av temperatur, fuktrörelser och sättningar följer fogen på ett estetiskt tilltalande sätt som är lätt att underhålla och reparera. Utifrån dessa enkla observationer av gamla byggnader finns det tecken som tyder på att det skulle vara fördelaktigt att undersöka om den här principen även är fördelaktig för modernt byggande.

I och med att byggandet av olika skäl förändrats från efterkrigstiden och framåt så har skalmurskonstruktioner med halvstens tjocklek blivit en vanlig konstruktion. Denna typ av konstruktion, med isolering på insidan och skalmur i tegel på utsidan leder till att skalmuren i stort sett helt följer yttemperaturen. Det skapar en större påfrestning jämfört med de gamla massivmurarna som kunde fördela rörelse och temperatur i djupled genom att de var 1-2.5 sten djupa och murade i förband. (Gustavsson 2008, s. 164)

Under flera decennier har svenska nationella byggnormer föreskrivit att skalmurar bör armeras i liggfog och muras med bruk av hållfasthetsklass M2.5 ("B-bruk") eller ännu starkare. (Boverkets konstruktionsregler BFS 1993:58, 1998, s 121)

Ett av motiven till att använda B-bruk har varit att det ger ett tillräckligt rostskydd för armeringen. Men sedan flera decennier tillbaka gäller att armering i murverk i utomhusmiljö ska utföras med rostfritt stål. (Eurokod 6, Svensk Standard SS-EN 1996-2:2006, s 31.) Därmed faller argumentet att använda ett cementrikt bruk på grund av att det ger ett rostskydd.

Syftet med liggfogsarmeringen finns beskrivet i Eurokod, EK6 (2005, s 88) där det står att: "liggfogsarmeringen är till för att förhindra rörelser i murverket så att murverkets funktion inte påverkas negativt."

Under rubriken "Murverksrörelser" i Eurokod 6 går det vidare att läsa följande: "Rörelsefogar bör användas eller murverket armeras för att minimera uppsprickning, böjning, eller skevning orsakad av utvidgning, krympning, rörelseskillnader eller krypning." (Eurokod 6, Svensk Standard SS-EN 1996-2:2006, s 13)

I modernt byggande föreskriver reglerna med andra ord att man kan hantera sprickbildning som uppkommer på grund av temperaturrörelser antingen genom rörelsefogar (dilatationsfogar) eller genom liggfogsarmering. Den här undersökningen kommer titta på om det finns ett tredje sätt att angripa problemet med temperaturrörelser, nämligen genom valet av bruk.

Problemformulering

Armeringen i skalmurar används idag främst för att förhindra sprickor i muren som uppkommer på grund av temperaturrelaterade och behövs inte ur konstruktionssynpunkt. Modernt byggande går tvärse mot den traditionella principen att fogarna alltid skulle vara svagare än stenen. Frågan är om modernt murade skalmurskonstruktioner kan utgå från traditionella principer och använda ett bruk som är svagare än stenen och därmed fördela sprickor längs med fogarna?

Syfte

Den primära avsikten med examensarbetet är att undersöka om det finns skillnader i hur sprickbildning genom tvångsdeformation uppträder med avseende på tre olika sorters bruk. I syftet ingår att tolka och diskutera sprickbildningen utifrån de materialspecifikationer och svar som tillverkaren anger.

Frågeställning

Vilken väg tar sprickorna genom 3-skift halvstensmur (fasadmur) när den utsätts för töjning under följande förutsättningar:

- Massivt tegel (35/28MPa) som muras med:
 - Hydraliskt kalkbruk med hållfastighetsklass M0,5
 - C bruk hållfastighetsklass M1
 - B bruk hållfastighetsklass M2.5
- Massivt tegel (15/12MPa) som muras med:
 - C-bruk
- Hur påverkas sprickbildningen av de ingående bindemedlen?
- Eftersom denna undersökning är tänkt som en förstudie blir det också en fråga om hur metoden för att framkalla töjning kommer fungera?

Befintlig kunskap

Utifrån litteratur och leverantörens kunskap finns det en del intressant att ta upp kring bruken och deras egenskaper.

SPEF (Sveriges murnings och entreprenadförening) har tagit fram handboken ”Rätt murat och Putsat” som är tänkt som ett utbildningsmaterial. I boken konstateras att:

”Risken för synliga sprickor i murverk är större ju högre hållfasthet det använda bruket har. Murbruk med en hög vidhäftning och lägre tryckhållfasthet har en större möjlighet att ta upp rörelser.” (Rätt murat och Putsat, 2005 s. 186)

Av de bruk som ingår i undersökningen så borde alltså det hydrauliska bruket och C-bruket ha större möjlighet att ta upp rörelser. Denna teori har också stöd av vad Tomas Gustavsson beskriver i Moderna tegeldetaljer (2008, s. 167)

”Övergång till C-bruk istället för B-bruk ger viss ökad deformationskapacitet och därmed minskad sprickrisk. Samtidigt ökar sannolikheten för eventuella sprickor följer murfogarna, och inte går rakt igenom tegelstenar. Praktiska erfarenheter visar att skillnaden i detta fall är stor mellan B-bruk, som idag är standardbruk och C-bruk. I tegelmurar som murats med B-bruk är fogarna starkare än teglet varför förekommande sprickor ofta går rakt igenom tegelstenar, medan C-bruk är så svagt att eventuella sprickor sker helt längs fogarna.”

I litteraturen finns med andra ord en teoretisk kunskap som beskriver hur ett hårdare B-bruk påverkar sprickbildningen jämfört med ett C-bruk. Den här undersökningen blir delvis ett sätt att belägga dessa påståenden. Det har gjorts observationer och praktiska erfarenheter men inte utförts som laboration där bruket och stenen isoleras från annat som kan påverka.

För att få mer specifik kunskap om bruken som används i undersökningen vände jag mig till Rolf Blank, (utvecklingsingenjör på Weber). Jag ställde bland annat frågan om något av de tre bruken hade en högre elasticitet som kan minska uppkomsten av sprickor. (se bilaga 1)

Rolf menade att det färgade B bruket är minst elastiskt och krymper mest. B-bruket har då ett lågt värde på E-modulen följt av C-bruket. Mest elastiskt är D-bruket. Utvecklandet av sprickor hänger ihop med tre saker:

1. Hur mycket bruket krymper
2. Under hur lång tid som hårdnandet sker
3. Hur starka krafter som bindemedlet utvecklar.

Cement ger väldigt starka krafter och hårdnar fortare jmf med det naturligt hydrauliska

bruk. Vissa strukturer i cementbruket stelnar snabbare vilket gör att spänningar bildas mellan dessa snabbt stelnde strukturer och de som stelnar långsammare. Eftersom cement utvecklar så starka krafter kan det slitas sönder inifrån när materialet krymper och därmed uppstår sprickor.

När det hydrauliska kalkbruket krymper i en fog sker processen i långsammare tempo och med en svagare kraft vilket underlättar att en spänningsutjämning istället sker i materialet.

I intervjun med Webers utvecklingsingenjör framkom en annan intressant skillnad mellan B-bruket och C-bruket. C-bruket har en bättre vidhäftning över tid. C-brukets bättre vidhäftning blir en naturlig följd av att det innehåller mindre cement och därmed krymper mindre. Det naturligt hydrauliska kalkbruket är inte närmare undersökt. (se bilaga 1 för utförligare svar.)

Material till undersökningen

De tegel jag har valt att ta med i undersökningen har tryckhållfastighet 15Mpa och 25 Mpa. (se bilaga) Utifrån dessa tegelsorter har Rolf Blank på Weber rekommenderat de bruk jag använder. Dessa tre bruk har valts från en och samma leverantör av praktiska skäl. Man kan förvänta sig att skillnaden i sprickbenägenhet längs fogar respektive rakt igenom tegelstenar är tydligast mellan murverk som utförts med M2.5 respektive M0.5. Den draghållfasthet som erhålls vid murning med M1 bedöms dock väsentlig vid murning av halvstens skalmurar, varför undersökningen också innefattar M1.

Tegel (se bifogade produktdatablad)

- Fasadtegel gult spånat massivt i svenskt format (250 x 120 x 62 mm)
- Medelvärde på vertikal tryckhållfasthet är 35/28 Mpa
- Murtegel röd slät massivt i svenskt format (250 x 120 x 62 mm),
- Medelvärde på vertikal tryckhållfasthet är 15/12 Mpa

Draghållfastheten i tegel är ca 1/5 till 1/10 av tryckhållfastheten. (Burstrom, 2007, s. 352)

Webers bruk

I undersökningen ingår två cementbaserade bruk (B och C bruken) och ett hydrauliskt kalkbruk (D). Enligt leverantören sammansätts bruken enligt nedanstående .

Färgat Murbruk B (M2,5)

- 10 % cement,
- 7 % dolomitfiller,
- 83 % Natursand, 0-4mm
- > 1 % Cellulosaderivat och
- > 1 % Luftporbildande medel

Färgat Murbruk C (M1)

- 7 % cement
- 10 % dolomitfiller
- 83 % Natursand, 0-4mm
- > 1 % Cellulosaderivat och
- > 1 % Luftporbildande medel

Hydrauliskt Kalkmurbruk D (M 0,5)

- 12 % NHL 5 (Natural Hydraulic Limestone, leverantör St Augustine)
- 2 % släckt kalk
- 5 % dolomitfiller
- 81 % Natursand, 0-3mm

Praktisk hållbarhet uppnås:

Färgat Murbruk B: M2,5: 6-8 Mpa efter 28 dygn

Färgat Murbruk C: M1: 3-4 Mpa efter 28 dygn

Hydrauliskt Kalkmurbruk: M0,5: 2-3Mpa efter 56 dygn

Avgränsning

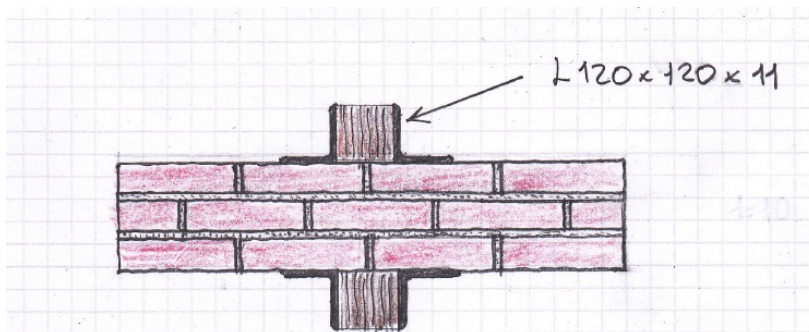
Den här undersökningen fokuserar på hur valet av bruk kan påverka sprickbildningen i ett murverk. Orsaken till sprickor är en kombination av orsaker som t ex sättningar, temperaturrörelser, kramlornas placering och utformning samt hur anslutning till sockeln görs. Jag kommer inte ta upp varför sprickor uppstår i byggnationer.

Undersökningens strävan är att isolera bruket och teglet för att se hur valet av bruk påverkar vilken väg sprickorna tar i en specifik tegelsort. Brukets sammansättning har stor betydelse för vilken hållfastighet, vidhäftning och elasticitet man uppnår i murverket. Men eftersom detta mer ska ses som en förundersökning kommer jag inte att göra heltäckande undersökning av de bruk som finns på marknaden. Jag kommer redovisa och diskutera sammansättningen på de bruk jag valt men det blir inte någon ingående analys på ballasten. Jag kommer inte heller ta upp hur släckningsprocessen påverkar det hydrauliska bruket som jag använder.

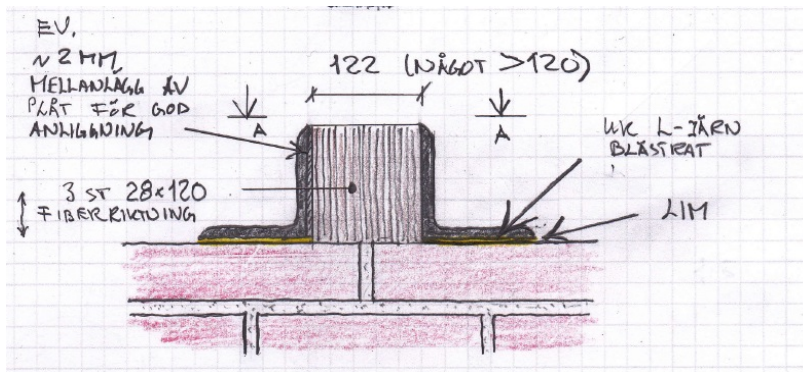
Metod

Försöksbeskrivning

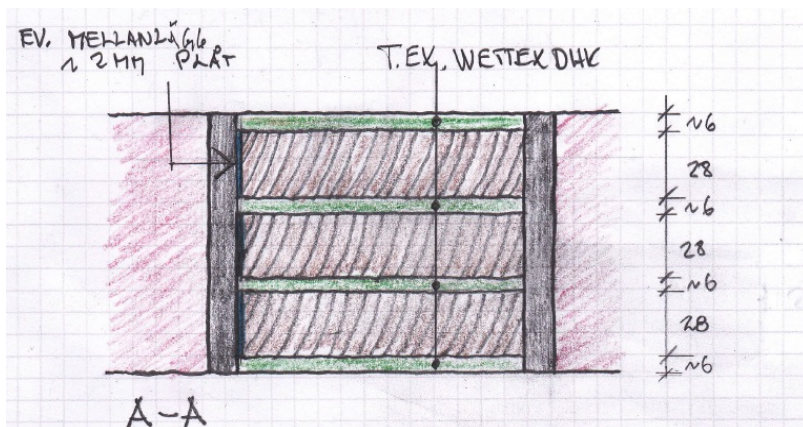
Metoden för den här undersökningen är inte prövad tidigare. Det har gjorts vissa förenklingar för att bana väg för en eventuell större och mer förfinad undersökning. I nedanstående skisser visas hur metoden går till. Skisserna är gjorda av Miklos Molnar och Tomas Gustavsson på Lunds Tekniska högskola. Genom att pröva någon annans metod så uppstod en del frågor kring denna hos mig själv. Jag har haft en kontinuerlig kommunikation med Miklos och Tomas om metoden. För att få en fylligare bild av hur vi resonerat kring metoden så har jag sammanställt ett antal frågor som Miklos och Tomas svarat på i bilaga 2.



Provmur sedd från sidan. L-järn i stål limmas på i ök och uk.



Uppförstorad detalj vid vinkeljärn, trävirkesbitar.



Horisontaldetalj, mittel av provmuren sedd från ovan, med Wettexdukar som fuktas inlagda. Det fuktade träet skapar en svällkraft som framkallar en dragbelastning på murverket.

Den sprickbildning som vi framkallar är avvägd att hamna mellan L-järnen. Det finns ingen exakt beräkning på den dragkraft som vi framkallar och vi kommer heller inte att mäta denna. (se bilaga 2)

Materialval till försöket

Volymförändring av olika träslag

För att framkalla sprickorna i murverket så monteras skivor av trä mellan L-järn av stål så att största möjliga fuktrörelse uppstår i tangentiell riktning. I tabellen på nästa sida kan ses hur krympningen av olika träslag förhåller sig. Jag har valt björk med fukthalt 8% för att det fanns tillgängligt. Det bör utvidga sig ca 10-14% enligt tabellen nedan. I tabellen går även att utläsa att ek hade uppnått ännu större volymförändring och därmed utövat en ännu större dragkraft på murverket vilket kan vara intressant kunskap för framtida försök.

Krympning i % från fuktmättat tillstånd till uttorkat tillstånd. (Burström, 2007, s.377)

Träslag	Tangiell	Radiell	Fiberriktning	Volym
Björk	7.8	5.3	0.6	14.2
Ek	8.9	4.5	0.4	14.1
Furu	7.7	4.0	0.4	12.4
Gran	8.3	3.9	0.3	12.0

L-järn i stål

L-järnen i försöket är beställda av Svetsbolaget i Mariestad och har dimensionerna 100x100x10mm och är lika breda som tegelstenen (120mm). De är slipade på den sida som limmas mot teglet. I framtagandet av metoden diskuterades hur kraftiga järnen skulle vara. Jag och mina samarbetspartners (Tomas Gustavsson & Miklos Molnar) kom fram till att vanliga byggbeslag skulle vara otillräckliga och riskera att böjas.

Epoxi

Valet av epoxi har gjorts i samråd med Nils Malmgren kundtjänst. Epoxin heter Epoxispackel 205 med härdare 207.

Verktyg och attiraljer

- Murarbalja
- Visp
- Byggplast
- Wettexduk
- Trekantslev
- Plywood
- Tvingar
- Tolk för avståndet mellan L-järnen.

Undersökning

Murarnas uppförande gjordes på byggplast för att de inte skulle få vidhäftning mot underlaget. Stenarna doppades i en spann med vatten för att skölja bort damm som kunde påverka limningen av L-järnen. Stor noggrannhet iaktogs för att få fyllda fogar. Bruket blandades enligt leverantörens anvisningar med något mindre vatten (3,5 liter/25kg istället för 4 l/25kg). Vattenmängden reglerades för att jag blött stenarna och för att jag tyckte att konsistensen var för lös med 4l.



Murarna sett framifrån. Fogen ströks med en konkav fogslev på framsidan för att sprickorna ska kunna avläsas tydligare



Närbild från sidan. Både liggfogen och stötfogen gjordes 12 mm.



Murarna sedda från sidan. 3 provmurar tillverkades för varje sorts bruk samt en extra provmur att testa på.



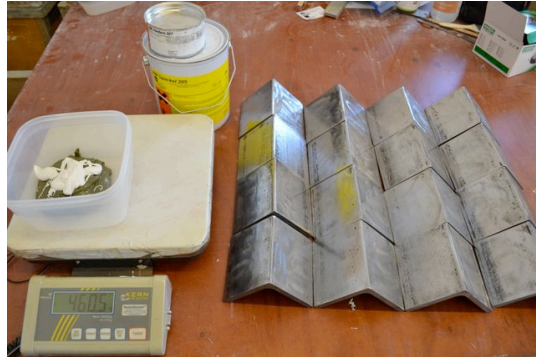
För att limma på L-järnen vältes muren efter ca 3 veckors härdningstid. Det gjordes genom att fixera formplywood längs mursidan och sedan försiktigt välta den mot två kilar.



Tvingarna kunde sedan lossas och muren glida av.



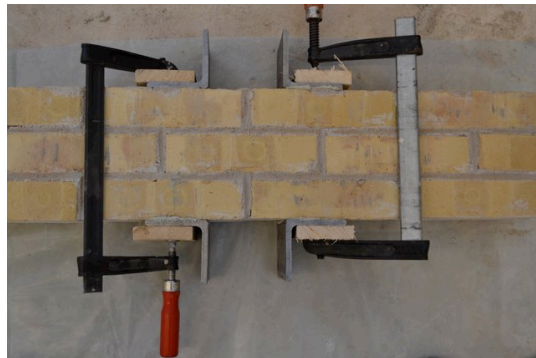
Avståndet för placeringen av L-järnen mättes ut med en tolk. Strecket på tolken centrerades över fogen enligt bilden.



Epoxin vägdes upp, blandades och lades på i omgångar med jämn fördelning.



L-järnen torkades av med acetone innan epoxin ströks på.



Järnen fixerades löst med tvingar för att inte glida.



Avståndet kontrollmättes till 122-124mm. Limmet fick härda 8 dygn.



Björkskivorna sågades upp i dimensioner som varierade mellan 120-123mm bredd eftersom avståndet mellan L-järnen varierade något.



Passformen kontrollerades. Träskivorna omslöts av en plastpåse för att behålla fukten i träet.



Vatten sprutades på skivorna 2ggr/dygn.



Exempel på provmur innan vattnet tillsatts.

Resultat



Weber naturligt hydrauliskt
kalkbruk M0,5
D-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber: Naturligt hydrauliskt
kalkbruk M0,5
D-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



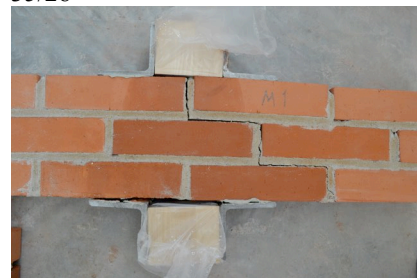
Weber: Naturligt hydrauliskt
kalkbruk M0,5
D-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Murtegel röd slät massivt 15/12



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Murtegel röd slät massivt 15/12



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Murtegel röd slät massivt 15/12



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M1
C-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M2,5
B-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M2,5
B-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28



Weber färgat murbruk M2,5
B-klass
Fasadtegel gult spånat massivt
35/28

Provmurarna redovisas ovan i den ordning som de sprack. Efter ett dygn blev det en spricka i alla 3 murarna som hade Naturligt hydrauliskt murbruk. Efter 2-3 dygn fanns det synliga sprickor i två av murarna som var gjorda med C-bruk och rött tegel. B-bruksmurarna hade sprickor i fogen efter tre dygn. På resten av provmurarna (5 st) däribland 3 murar av gult tegel och C-bruk så lossnade L-järnen efter 3 dygn.

Det förväntade resultatet var att provmurarna med B-bruk skulle spricka rakt igenom. På bilderna kan vi se att sprickan följer fogen för provmurarna som var murade med:

- Hydrauliskt kalkbruk
- C-bruk med rött tegel
- B-bruk med gult tegel

Mest oväntat var att provmurarna av det hårda gula teglet och C-bruk, där lossnade alla L-järnen men fogen höll. Jag återkommer till detta i slutdiskussionen.

Slutdiskussion

Jag tänkte först diskutera kring metoden och sedan gå in på resultatet. Genom att titta på bilderna nedan kan vi förstå varför L-järnen lossnade.



Gul provmur M2,5



Gul provmur M1



Röd provmur M1

Diskussion av metoden

På bilderna av de gula provmurarna syns att epoxin har släppt från stålet. Ytan på stålet var slipad för att få bättre vidhäftning. Innan limningen torkades den av med aceton. Man kan tänka sig att en ännu grövre slipning av stålet hade gett en bättre vidhäftning.

En annan faktor som har påverkat draghållfastigheten på järnen är att i den praktiska genomförandet av undersökningen så minskades anläggningsytan mot teglet från skissens mått 120x120x120 till 110x110x120. Detta gjordes för att 120 dimensionen inte fanns tillgänglig. Även detta kan ha påverkat att L-järnen lossnade.

Tittar vi på den röda provmuren så var dragkraften tillräcklig för att övervinna både teglets hållfastighet och samtidigt framkalla sprickor i fogen. Vidhäftningen mellan stål – epoxi - tegel var här mer jämt fördelad och bättre. I bilden på den röda provmuren kan vi se hur epoxin slitit av en bit av teglet. Dragkraften var även tillräckligt stor för att övervinna C-bruket och framkalla spricka i fogen.

Om experimentet skulle göras om skulle stålets yta ruggas upp ännu mer och anläggningsytan göras större. En grundläggande fråga som jag inte kan svara på är om de dragkrafter som framkallas med den här metoden verkligen efterliknar de rörelser som uppkommer på grund av temperaturrörelser? En bättre simulering hade kanske varit att göra längre provmurar i ett kylrum där man kan framkalla extrema temperaturskiftningar och att göra 10-15 temperaturcykler.

Diskussion av resultat

För att förklara resultaten så vill jag hävda att det hänger ihop med vidhäftningen och styrkan på bruken. Det hydrauliska kalkbruket har sämst draghållfastighet vilket märktes genom att sprickorna kom först på dessa murar. Försöket var inte riktigt rättvist mot det hydrauliska kalkbruket eftersom det uppnår full hållfastighet efter flera månader. En större undersökning skulle låta det hydrauliska kalkbruket hydratisera klart. Det skulle då komma upp i en hållfastighet som ligger mycket nära C-bruket. Samtidigt är elasticiteten och förmågan till spänningsutjämning störst hos

det hydrauliska kalkbruket vilket ger en fördel när fogen utsätts för dragpåkänning.

Det cementbaserade B-bruket krymper mest och har därför sämst vidhäftning. Styrkan i bruket gör att det är mycket bra på att ta upp tryckkrafter uppifrån men dragkrafter mellan tegel och bruk blir beroende av vidhäftningen. Den sämre vidhäftningen motverkar den potentiella hållfastheten som hade kunnat uppnås med optimal vidhäftning (ingen krympning). I e-post med Rolf Blank på Weber så berättade han att man som tillverkare allra helst vill ha vidhäftning större än brukets eller teglets inre hållfastighet. Ett bra värde på vidhäftningen ligger enligt Rolf på 0,3-0,4 Mpa. Jag har inte fått fram det exakta värdet på bruken som jag använt men enligt Rolf ligger Weber i framkant och har vissa bruk som når upp till 0,6-0,7 i vidhäftning. Vidhäftningen på försöksbruken är med andra ord mycket bra i förhållande till andra bruk enligt Rolf Blank.

Det mest anmärkningsvärda i resultatet var att alla L-järnen gick av på murarna med det hårda gula teglet och C-bruk. Man kan tänka sig att det berodde på dålig vidhäftning mellan epoxin och teglet. En annan hypotes som hade varit intressant att testa mer noggrant är att C-bruket har en bättre draghållfastighet i fogen jämfört med B-bruket. Det skulle i så fall hänga ihop med att C-bruket krymper mindre och får en bättre vidhäftning jämfört med B-bruket. I så fall tyder resultaten på att de gula murarna med C-bruk hade den bästa draghållfastheten av alla murarna. Att de röda murarna med C-bruk fick fogsprickor kan förklaras av att det var ett annat tegel där som gjorde att vidhäftningen mellan L-järn-Epoxi-Tegel blev bättre och kunde stå emot en större kraft jämfört med de L-järnen på de gula murarna. I bilden på Röd provmur M1 syns att epoxin sitter kvar på stålet med en bit av teglet vilket visar att vidhäftningen varit extremt bra där.

Min stora insikt med undersökningen har varit att valet av bruk och tegel är mycket mer komplext jämfört med vad jag först trodde. Vidhäftningen, fogstyrkan på teglet, hydratiseringstiden, och krympningen är faktorer som påverkar resultatet förutom brukens tryckhållfastighet. Många bruk som säljs i handeln kan enligt Rolf Blank ha en mycket dålig vidhäftning på endast 0,1-0,2 men ändå säljas som ett starkt B-bruk vilket kan vara vilseledande. Ett sådant bruk kan följa rekommendationerna för tryckhållfastighet i Eurokod 6 samtidigt som risken för sprickor på grund av temperaturrörelser blir mycket stor eftersom vidhäftningen är dålig. Med ett sådant bruk behövs armering i liggfogen. Men förmodligen skulle ett C-bruk med bra vidhäftning eller ett hydrauliska kalkbruket med fördel kunna användas utan armering och utan dilatationsfogar om det muras enligt Tomas Gustavsson rekommendationer . (Moderna Tegeldetaljer 2008. sid 167). Det hydrauliska kalkbruket har dessutom de positiva egenskaperna att det är mer diffusionsöppet och att det sker en spänningsutjämning som är mer harmonisk jämfört med cementbaserade bruk.

Käll- och Litteraturförteckning

Muntliga källor

Rolf Blank, utvecklingsingenjör Weber rolf.blank@weber.se

Tomas Gustavsson, Byggnadskonstruktör och forskare, Tomas Gustavsson konstruktioner AB, Lunds tekniska högskola, tomas@konstruktioner.se

Miklós Molnar, Dr. Lunds tekniska högskola, miklos.molnar@kstr.lth.s Tel. 046-222 34 53

Tryckta källor och litteratur

Burström, P.G. (2007). Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper. Lund : Studentlitteratur.

Gustavsson, T. (2008). Moderna tegeldetaljer: med teglets materialitet som utgångspunkt . Stockholm : Arkitekternas forum för forskning och utveckling (Arkus).

Hökerberg, O.(1936) Husbyggnad. Stockholm.

Johansson, S. (2006). Hydrauliskt kalkbruk. Göteborg.

Komittén för murverk & puts. (2012). SS-EN 1996-1-1:2005, Swedish Standard Institute, Eurokod 6: Dimensionering av murverkskonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler för armerade och oarmerade murverkskonstruktioner. Utgåva 1, <http://www.sis.se/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/tekniska-aspekter/ss-en-1996-1-12005a12012> , 2013.

Komittén för murverk & puts. (2012). SS-EN 1996-2:2006, Swedish Standard Institute, Eurokod 6: Dimensionering av murverkskonstruktioner - Del 2: Dimensioneringsförutsättningar, materialval och utförande. Utgåva 1, <http://www.sis.se/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/tekniska-aspekter/ss-en-1996-220061> , 2013.

Paulsson, G. (1939). Hantverkets bok: Mureri. Stockholm.

Von Platen, S. (1998). BKR, Boverkets konstruktionsregler BFS 1993:58. Karlskrona : Boverket ; Stockholm : Fritze .

Rätt murat och putsat (2005). Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Bilaga 1

Frågor till Rolf Blank, utvecklingsingenjör på Weber.

Vilken är den största utmaningen när ni tillverkar ett murbruk för fasadmur?

Funktionen på murverket avgör egenskaperna som bruket behöver ha. Vidhäftningen är viktigast. Utmaningen är att det finns så många olika sorters sten, struktur, porstorlek, lersort som ger olika sugning. Vidhäftningen ska ske i lagom takt så inte allt vatten sugs bort direkt.

Den andra stora utmaningen är att få en bra arbetbarhet. Vattnet får inte vara kvar för länge för då glider stenen och det blir inget grepp.

Av de tre brukerna som jag använder i undersökningen, vilken sorts bruk har bäst vidhäftning?

Färgat murbruk B: B-bruket krymper mer vilket gör att vidhäftningen blir sämre över tid. Den initiala vidhäftningen kan vara god men blir sedan ”Självförstörande”, Sjunkande kurva på vidhäftningen som är snabbare för B-bruket jmf med C- och D-bruket

Färgat murbruk C : Medelvidhäftningen blir bättre för C-bruket M1-bruket jmf med B-bruket. M2.5.

Hydrauliskt Kalkmurbruk D: ej undersökt närmre. En fördel är att det inte blir några inre spänningar.

Har era tester visat att luftkalk och naturligt hydrauliskt kalk ger bättre vidhäftning?

Den initial vidhäftningen kan vara bra för luftkalk vilket beror på sugningen. Luftkalk är nästan ingen vidhäftning i början eftersom karbonatiseringen tar tid. Luftkalkbruk har en ökande vidhäftningskurva med B-bruket har en som först stiger men sedan sjunker när krympningen ger sprickbildning. Skjuvhållfastighet och vidhäftning är ungefär samma sak.

Vad är i så fall orsaken?

C-bruket krymper mindre än B-bruket vilket ger bättre vidhäftning över tid.

Hur inverkar ballasten på vidhäftningen?

Finkornig ballast ger större krympning som kan förstöra vidhäftningen. Samtidigt kan en finkornig sand ge en bättre kvarhållning av vattnet. En sten som suger mycket behöver ett ballast som har mindre kornfraktioner. Generellt är en jämn siktkurva det bästa. Ökar bindemedelmängden så behövs mer vatten vilket också ger mer krympning och sämre vidhäftning över tid.

I produktspecifikationen står att ballasten i det Färgade murbruket består av

naturesand och vit ballast (0-4mm) medan ballasten i det hydrauliska kalkmurbruket är 0-3mm. Vad är orsaken till detta?

Beror på tillgången av sand på fabriken. Det är en liten mängd som är över 2mm, ca 5% över 2mm och 0,5% över 3mm.

Man skulle kunna tänka sig att man laborerar med ballast för att påverka hållfastighet och vidhäftningsegenskaper. Men i praktiken är det svårt och styrs av tillgången på sand. En grövre ballast i bruken skulle visserligen öka hållfastigheten och minska krympningen men arbetsbarheten skulle försämrats och fogstrykningen skulle försvåras.

Är det vanligt att mindre sprickor i murverk uppstår på grund av dålig vidhäftning?

Ett naturligt hydrauliskt bruk hårdnar så att det sker en spänningsutjämning vilket inte leder till några större sprickor. B-bruket har störst krympning och utvecklar en större kraft när det hårdnar. Det gör att det blir inre spänningar när bruket hårdnar som ger mikrosprickor.

Har något av de tre bruken en högre elasticitet som kan minska uppkomsten av sprickor som uppkommer på grund av upptorkning och temperaturörelser?

B bruket är minst elastiskt och krymper mest. B-bruket har då ett lågt värde på E-modulen jämfört med C-bruket. Mest elastiskt är D-bruket. Utvecklandet av sprickor hänger ihop både med tre saker:

Hur mycket bruket krymper ?

Under hur långt tid som hårdnandet sker?

Hur starka krafter som bindemedlet utvecklar?

Cement ger väldigt starka krafter och hårdnar fortare jmf med det naturligt hydrauliska. Vissa strukturer i cementbruket stelnar snabbare vilket gör att spänningar bildas mellan strukturer som stelnar långsammare. Eftersom cement utvecklar så starka krafter kan nätverk slita sönder varandra och därmed uppstår sprickor.

När det hydrauliska bruket krymper i en fog sker processen tillräckligt långsamt i förhållande till de krafter som utvecklas av bindemedlets hårdnande att en spänningsutjämning sker som minskar risken för sprickor.

Är något av de tre bruken mer diffusionsöppet och beror det i så fall på valet av bindemedlet, ballast eller en kombination?

Det hydrauliska kalkbruket är mest öppet, B-bruket är tätast. Bara bindemedelspastan har egentlig betydelse för graden av öppenhet.

Skulle det gå att göra ett hydrauliskt murbruk baserat på NHL-5 som får samma hållfastighet som ett C-bruk?

Ja, genom att använda puzzolana material och mera bindemedel går det att öka hållfastigheten avsevärt. Problemet är att man då närmar sig de egenskaper vad gäller krympning och vidhäftning som ett cementbaserat bruk har. Poängen med att använda

ett hydrauliskt bruk går då förlorat och dessutom är det cementbaserade bruket mycket billigare.

Bindemedelsmängden har viss betydelse för hållfastigheten och hänger ihop med VCT talet. Mer bindemedel och mindre vatten ger högre hållfastighet.

Ett NHL 5 som är blandat 1:3 ger högre hållfastighet än ett bruk blandat på 1:4. Men det finns en gräns för hur mycket bindemedel man kan ha utan att det påverkar på andra sätt som är negativa för hållfastigheten. Mer bindemedel ökar risken att det blir mikrosprickor när murverket torkar över tid. Vid en blandning som närmar sig 1:1 får det negativa konsekvenser för tryckhållfastigheten.

Det går inte att få tryckhållfastighet C enbart genom att öka bindemedlet.

Puzzolantillsats krävs. Men det är ganska lätt att få ett D-bruk att komma väldigt nära C-brukets hållfastighet. Man vill ha ett elastiskt murverk med tillräcklig bärighet.

Vilka byggnader behöver en högre tryckhållfastighet på fasadmurarna än 3 Mpa? Rolf menar att de flesta byggnader skulle det alltså fungera med att använda ett naturligt hydrauliskt kalkbruk som kommer upp i en tryckhållfastighet strax under C- bruket.

Utifrån ett byggnadshistoriskt och kulturvårdande perspektiv undrar jag varför det finns få eller inga naturligt hydrauliska bruk baserade på svenska råvarutillgångar. Vad skulle du säga att det beror på?

Det hänger ihop med hur industrin utvecklats från efterkrigstiden och framåt. Det cementbaserade bruket var billigare att producera och hantera rent logistikmässigt. Längre användes cementbaserat C-bruk. C-bruket trängde undan det hydrauliska bruket och man menade att det hade ungefär samma egenskaper. När reglerna om att använda B-bruk i armerade murverk kom så blev det en reglering som ytterligare försvårade användning av luftkalk och naturligt hydrauliskt kalkbruk.

Med de erfarenheter som du har, är det en rimlig hypotes att ett murverk av hydrauliskt kalkbruk, utan armering skulle ta upp temperaturspänningar, fuktrörelser och sättningar på ett bättre sätt jämfört med ett cementbaserat C-bruk?

I teorin är det en intressant hypotes. Det långsamma hårdnandet borde skapa bättre möjligheter för att en spänningsutjämning ska ske. Men i praktiken sker en ganska stor del av hårdnandet i början för båda bruken vilket gör det svårt att veta om det egentligen har någon betydelse. Vad gäller putsbruken har det förts en argumentation att de som är baserade på naturligt hydrauliskt kalk blir mer elastiska och får mindre sprickor. Försök behövs för att bevisa eller motbevisa denna hypotes.

Man kan gissa sig till dessa värden på E-modul:

M:2.5 har tryckhållfastighet på ca 4-5Mpa med EN-standard. Den praktiska hållfastigheten ligger på 7-10Mpa i fogen

M1: har tryckhållfastighet på ca 3Mpa med EN-standard. Den praktiska hållfastigheten ligger på 4-5Mpa i fogen.

M0.5: EN-standard 0.5 Den praktiska hållfastheten ligger på 2Mpa i fogen

Betong: 15 Gpa

Durkopf & Kenneth Sandin har eventuellt skrivit något om E-modul för bruk.

Kompletterande svar via mail:

Hej

(nedanstående är praktiska hållfasthetsvärden = HÅLLF I EN FOG MED NORMALT SUGANDE STEN. Test i stålform ger mycket lägre värde som du vet.)

E-modulen betong enl. betonghandboken

K 25 tryckhållfasthet ca 25 MPa E-modul = 32 000 MPa

Resten har jag uppskattat

Cementbruk 100/400-100/300, tryckhållfasthet ca 20-25 MPa ger E-modul ca 25 - 30 000 MPa

Serpo 340 är hållfasthetsmässigt ca 15MPa E-modul = ca 20 MPa.

För ett vanligt B-bruk som är lite svagare, tryckhållf 10 MPa så brukar vi använda 15 000 MPa.

För ett vanligt C-bruk, tryckhållf 5 MPa så brukar vi använda ca 10 000 MPa.

E-modul Hydrauliskt Kalkbruk 5 000.

Luftkalbruk 3 000 MPa. Från boken Murning och Putsning.

Vidhäftning bruk mot tegel. Allra helst vill man ha vidhäftning större än brukets eller teglets inre hållf.

B-Bruk kan ge inre hållf. upp emot 0,8 MPa (10% - max 15% av tryckhållf).

Vidhäftningsvärde mot tegel för murbruk mätt som vinkelrätt drag mot stenytan.

0,1 MPa minsta acceptabla värde, inte bra och inte vad vi vill ha. (Tyvärr ligger mycket bruk som säljs mellan 0,1-0,2 MPa.) Vi tycker vi har bruk som ligger mycket bra till.

0,2 MPa acceptabelt värde men ingen nedgång mellan 7 och 28 dygn är acceptabelt

0,3-0,4 mycket bra och önskvärt värde.

Över 0,4 MPa är extremt bra. Vi har fått värde på 0,6-0,7 med våra specialvidhäftningsbruk (vi har ett bruk FMV M2,5) men då går sten och bruk sönder.

Bif vidhäftningsmätmetoder 6 metoder (ursäkta den slarviga ritningen men bättre än ingen)

EN standards anger flera metoder

Krytpal har jag inga värden på

Vh

Rolf Blank

Saint Gobain Byggprodukter AB

Bilaga 2: frågor till Miklós Molnar och Tomas Gustavsson, LTH

svar Miklos:

och kompletteringar från Tomas:

Varför har det inte utförts studier där man tittar på bruket och bindemedlets betydelse för sprickbildning i murverk?

- Det finns en tradition av att arbeta med empirisk kunskap. Man drar slutsatser från observationer
- Det har genomförts studier där sprickbildning i sig inte var huvudsyftet men där man kunde iaktta att bindemedelshalten och bindemedlets egenskaper har stor inverkan på sprickbildning
- Praktiska försök för att studera sprickbildning är ganska så omständliga. Det kan ta lång tid innan eventuella sprickor visar sig om man inte kan trigga sprickbildningen.
- Vanliga dragförsök är svåra att genomföra i praktiken
- Alla verkar ha haft fokus på hållfasthet och bärförmåga, armerat murverk kan ta större last åtminstone beräkningsmässigt
- Frågan om b-bruk eller C-bruk får konsekvenser om bruket betyder att man kan undvika dilatationsfogar. Undvikande av dilatationsfogar har varit en angelägenhet för arkitektkåren, tekniker har inte sett det som en väsentlig fråga, och eftersom FoU-frågor om byggnadsteknik främst hanteras av tekniker har denna fråga inte tillmätts betydelse

Tillåter dagens regelverk andra lösningar för att parera temperaturrörelser än att armera i liggfog och använda dilatationsfogar?

- Nej, trots att det finns evidens på att glidskikt mellan murverket och upplaget är en effektiv sprickhämmande åtgärd
- I Eurokoden används ordet ”bör” för avstånd mellan dilfogar. I tidigare svenska nationella normer stod inget föreskrivet om avstånd mellan dilfogar. Så det är egentligen inget normkrav det handlar om, mer en praxis som vunnit insteg i branschen, successivt under en 40-årsperiod. Det finns en medvetenhet i branschen om att glidskikt minskar risken för sprickbildning. Men man har inga metoder eller vana vid att räkna på detta, varför de medel man har som

minskar behov av dilfogar endast används som extra säkerhet.

Går det att med nuvarande regelverk använda ett svagare bruk eftersom det står ”bör” och inte ”skall” i regelverket?

- Ant
agligen ja. Vi kommer att ta upp frågan med både Boverket och med gruppen som arbetar med en omarbetning av Eurokoderna för murverk

Finns det någon studie som bevisar att naturligt hydrauliska kalkbruk är mer elastiska och har bättre vidhäftning jämfört med cementbaseradebruk?

- Det
finns det säkert men jag kan inte på rak arm peka ut någon källa. Leta gärna i danska källor eller i tidskriften Masonry International
- Hyd
rauliska kalkbruk är nog mer elastiska – men har dom verkligen större vidhäftning än KC-bruk?

Jag har letat elasticitetsmodul hos olika bruk men ej hittat. Har ni några uppgifter på E-modul för B, C och naturligt hydrauliskt bruk?

- Bra
fråga till Weber/Rolf B eller leta i källor enligt ovan

Vilka skulle vinsterna vara på kort och lång sikt med att använda ett svagare bruk och mindre armering?

- På
kort sikt: lägre pris med mindre armering, dock något högre pris för kalkbruket (tror jag)
- På
lång sikt: minskad sprickrisk, därmed färre klagomål; vackrare murverk; bättre beständighet;

Vilka är riskerna med att använda ett C-bruk eller hydrauliskt kalkbruk vid liggarmening?

- Ing
a risker om liggarmeningen bara har sprickhämmande funktion;
- Ris
k för vidhäftningsbrott om armeringen har bärande funktion;

Om man skulle övergå till ett svagare bruk vid liggfogsarmening, skulle ett hydrauliskt kalkbruk vara att föredra om det uppnår samma hållfastighet som ett C-bruk? Varför?

- Jag
har svårt att överblicka för- och nackdelarna i skrivande stund;
- Om
kalkbruk ger större deformationstålighet eller seghet i brottet är det förstas fördelaktigt. Utan att veta tror jag dock att hållfastheten är det viktiga – är

fogen för stark kommer sprickor att gå rakt igenom fogarna. Så jag tvivlar på att det finns speciella fördelar med hydrauliskt kalkbruk i övrigt. Men det skulle vara intressant om det undersöktes.

Metoden

Är metoden testad tidigare?

- Nej
– ”invented here”

Finns det en beräkning bakom valet av avstånd mellan L-järnen eller är det ett antagande?

- Ing
en beräkning men däremot en avvägning. Man vill att sprickan ska uppstå i området mellan l-järnen

Eftersträvar vi en kalkylerad kraft/rörelse som motsvarar en temperaturrörelse? Eller är målet att bara framkalla en dragkraft som är tillräcklig för att spräcka muren?

- Ege
ntligen ja, men det hade krävts mer avancerad instrumentering för att följa deformationsförloppet för att kunna göra den kopplingen. Det bör göras i ett kommande arbete

Ska jag använda tvingar och sätta press på L-järnen när jag limmar dem?

- Kan
inte vara fel att fixera L-järnen om det nu är möjligt. Men det ska vara låga klämkrifter, helst undvika att skada provkropparna.