



Effekt af fugefærdiggørelse, klimakammer test. Samlerapport



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

18. august 2022

Titel:

Effekt af fugefærdiggørelse, klimakammer test. Samlerapport

Rekvirent:

Murersektionen under Dansk Byggeri
H.C. Andersens Boulevard 18
1553 København V

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Murværk

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Abelone Køster, tlf. 7220 3816, aek@teknologisk.dk

Godkendt af: Sandra Michelis, tlf. 7220 1243, sami@teknologisk.dk

Opgave nr.: 986530-1 V3

Version nr.: 03

Dato: 18. august 2022

Bemærkninger: Denne rapport erstatter rapport 986530-1 V3 dateret 18. juli 2022

Årsag til revision: Et bilag til rapporten er ændret til et selvstændigt notat.

Resultater af Instituttets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Instituttets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.

Indledning

Efter aftale med Murersektionen under Dansk Byggeri har Teknologisk Institut gennemført Effekt af fugefærdiggørelse, klimakammer test. Samlerapport. I nærværende samlerapport gives en kort beskrivelse af forløbet, samt de overordnede konklusioner. Der henvises desuden til relevante laboratorierapporter og forsøgsbeskrivelser som følger:

986530-2 V2 Effekt af fugefærdiggørelse, klimakammer test. Krydsbor målinger

986530-3 Forsøgsbeskrivelse med data for opmuring, klimapåvirkninger samt visuelle registreringer og fugtmålinger foretaget under udtørningsforsøg

986530-4 V2 Effekt af fugefærdiggørelse, klimakammer test. Tyndslibsanalyser og friskmørtel egenskaber

986530-5 Fugtpåvirkning, klimakammer test. Statistisk analyse af fugtmålinger.

Formål

Ifølge aftale med rekvirenten havde undersøgelsen til formål at undersøge hypoteserne:

- Hypotese 1: Ved at gøre overfladen ru, forbedres fugttransporten mod overfladen, og udfældning af salte bag overfladen som forårsager forvitring, mindskes.
- Hypotese 2: Ved at gøre overfladen ru, vil den visuelt fremstå mere ensartet, selvom der i nogle områder opstår mindre forvittringer i overfladen.

Hypotese 1 undersøges ifølge forsøgsplanen ved følgende data:

- Evt. visuelle skader
- Fugtmålinger under udtørring
- Tyndslib, karbonatiseringsdybde
- X-bor, fugestyrker

Hypotese 2 undersøges ifølge forsøgsplanen ved følgende data:

- Vurdering af evt. visuelle skader

Endvidere var det ønsket at vurdere effekten af klimapåvirkningerne udført i laboratoriet, set i forhold til erfaringer med klimapåvirkninger ved skadesanalyser. Det vil sige, har den laboratorieskabte klimapåvirkning samme effekt på murværket, som det virkelige klima.

Forsøgsbeskrivelse

Detaljeret forsøgsbeskrivelse findes i rapport 986530-3. Nedenfor gives et resumé af forløbet.

Opmuring og materialer

8 prøvemure blev opmuret i laboratoriekælderen under Teknologisk Institut, Aarhus, d. 8. februar 2022. Før opmuring var murstenene afkølede til ca. 5 °C.

Der blev opmuret 2 sæt á 4 mure, med hver sin mørtel, FM5 Weber (W) og DG-M5-HiLo fra Dangrit (DG). Hvert sæt bestod af 3 mure med gul mursten B430 Bison og 1 mur med rød mursten B307, begge fra Strøjer Tegl. De 3 mure med samme mursten blev udført med 3 forskellige fugefinish:

- Glat fuge
- Glat fuge opkradset med svamp
- Ru fuge, trykket med pind

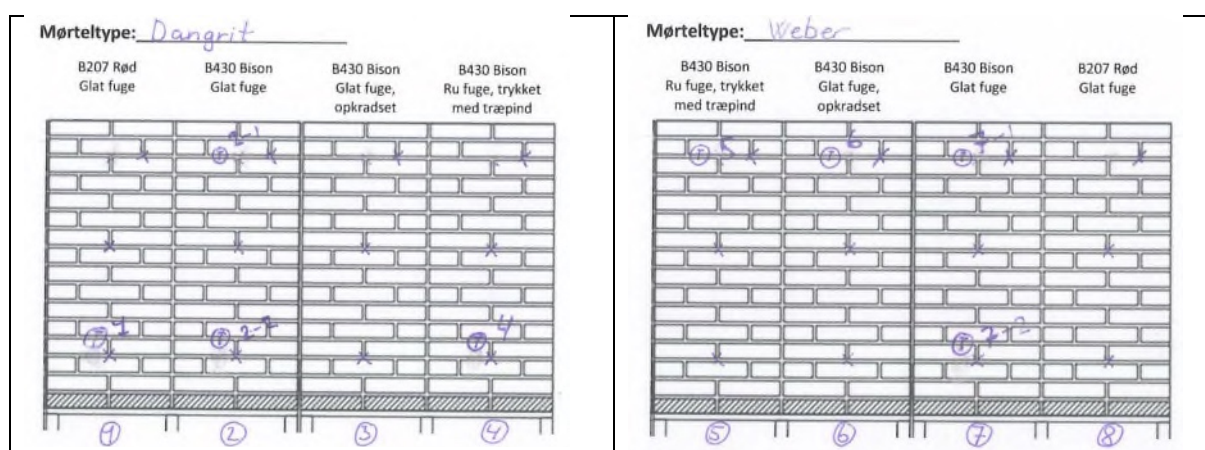


Fig 1. Oversigt over prøvemure og materialer mv. I klimakammeret er murene opstillet i forløb, se fig. 2.

Opmuring blev foretaget af rekvirenten. Tilstede var desuden repræsentanter for de to mørtelleverandører, som bestemte, hvornår fuger skulle komprimeres og færdiggøres. Tidspunkter for opmuring og trykning blev noteret undervejs af de udførende.

På de friskblandede mørtler blev målt vandindhold, luftindhold og konsistens (via rystebord). Luftindholdet var 19-20% i alle blandinger. Dangrit mørtlen havde en blødere konsistens end Weber. Begge blev blandet iht. producentens anvisning om vandtilsætning og blandetid.

Klimapåvirkning

Murene blev efter opmuring afdækket mod udtørring. Murene blev efterfølgende indbygget i klimakammeret. Dagen efter, d. 2022-02-09, blev første klimacyklus igangsat med påsprøjtning af vand.



Fig. 2. Opstilling i klimakammer. De 8 mure berisles fra rør med flere åbninger. I kammeret er opstillet en kondensstørrer. Den tørre luft herfra blæses via et symmetrisk rør på gulvet, med én åbning ud for hver mur.

Der blev gennemført 4 klimacykler, først 2 med berisling og udtørring ved temperaturer på højst 15 °C, herefter 2 med berisling og efterfølgende frostpåvirkning ned til ca. -5 °C. Det samlede klimaforløb var fra 2022-02-09 til 2022-02-28, 20 dage i alt.

Efter d. 2022-02-28 henstod murene i tørt laboratoriemiljø.

Fugtmålinger og iagttagelser under klimatest

Under de to første klimacykler med opfugtning og udtørring blev der foretaget fugtmålinger med HF-sensor, calibration bricks, på hhv. fuger og mursten.

Den første måling blev foretaget dagen efter opmuring, inden den første berisling. Fugtindholdet i fugerne var da 1-5% og i murstenene 3-7%. Efter berisling steg fugtindholdet til 6-10% i fuger og 9-12% i mursten. Udtørring til under 4% i murene som helhed skete i løbet af 3-4 døgn.

På dag 2 i første cyklus, dvs. efter ca. 1 dag med udtørring, ses mørke og lyse fuger på vægge V6 – V7 – V8. Disse farveforskelle svinder efter endnu en dag.

På den 5. og sidste dag i første cyklus ses hvide udfældninger. Der er ikke yderligere at bemærke. Der opstår ingen synlige skader.

Detaljerede statistiske analyser af fugtmålinger findes i delrapport 986530-5.

Prøveudtagninger

Der blev foretaget 3 stk. krydsbor (X-bor) målinger i hver væg d. 17. marts. Ved udførelsen havde prøvemurene således en alder på 37 dage, heraf 19 dage i klimakammer under varierende

påvirkning og 18 dage i almindeligt laboratorieklima, ca. 20 °C og tørt. Opfølgende X-bor målinger er foretaget 27. juni 2022. Resultaterne er afrapporteret i rapport 986530-2 V2.

Prøverne til tyndslibsfremstilling i form af 2 sammenhængende mursten blev udtaget d. 22. marts, og tyndslibene var klar d. 22. april 2022. Ved udtagelsen havde prøverne således en alder på 42 dage, heraf 19 dage i klimarum under varierende påvirkning og 23 dage i almindeligt laboratorieklima, ca. 20 °C og tørt.

Der blev udtaget 8 tyndslib fra 5 af væggene, således at der fra nogle vægge blev udtaget 2 prøver, i hhv. top og bund. En komplet oversigt over de udtagne prøver ses i rapport 986530-4 V2. Tyndslibsanalyser og friskmørtel egenskaber

Konklusioner

Konklusionerne antages at gælde for funktionsmørtler med et luftindhold på ca. 20% i den friske mørtel, udført under optimale forhold og komprimeret rettidigt. Endvidere har murene inden første opfugtning stået mindst 20 timer under optimale forhold (afdækket og ved 20 °C).

Hypotesetest

For test af hypotese 1: "Ved at gøre overfladen ru, forbedres fugttransporten mod overfladen, og udfældning af salte bag overfladen, som forårsager forvitring, mindskes", lægges følgende til grund:

- Der opstod ingen visuelle skader under testforløbet
- Fugtmålinger under udtørring viste ingen tydelige tendenser for fugtindholdet for de 3 typer fugefinish
- X-bor målinger viste ingen forskel i styrkeudvikling for de 3 typer fugefinish
- Tyndslib viste tydelige forskelle i karboniseringsdybde (målt fra fugeoverflade), men forskellene var relateret til nedsat vedhæftning (luftlommer) mellem mørtel og mursten, yderst i fugen, og en sammenhæng med fugefinish kunne ikke påvises.

Hypotese 1 kan ikke bekræftes, idet der ikke kunne konstateres forskelle imellem de 3 typer fugefinish, med relation til udtørring, for de to typer funktionsmørtel.

For test af hypotese 2: "Ved at gøre overfladen ru, vil den visuelt fremstå mere ensartet, selvom der i nogle områder opstår mindre forvittringer i overfladen", lægges følgende til grund:

- Der opstod ingen visuelle skader under testforløbet

Dermed kan hypotese 2 hverken be- eller afkræftes.

Med henvisning til ovenstående er det muligt at lægge æstetiske hensyn til grund ved valg af fugefinish, under de givne forhold og for mørtler af tilsvarende type.

Initialstrukturer

Initialstrukturer er de strukturer, som opstår i forbindelse med opmuring og fugefærdiggørelse, samt ved tidlig vejrligspåvirkning. De kan erkendes ved analyse af tyndslib, hvor form, mængde og placering af luft, tilslag og bindemiddelpasta kan karakteriseres og vurderes.

I forbindelse med forvitringsskader på mørtler med højt luftindhold ses typisk en grynet og usammenhængende struktur af bindemidlet yderst i fugen, hvor forbindelse til tilslaget flere steder er brudt. Fænomenet skyldes altid en mekanisk påvirkning, som enten kan skyldes komprimering af fugen efter mørtlen er ophørt med at være plastisk, eller en tidlig påvirkning af krystaltryk fra is eller salte, før bindemidlet har opnået fornøden styrke.

Aktuelt er der udtaget 8 tyndslib, hvoraf 1 viser tendens til den nævnte grynede struktur.

Klimapåvirkning

Undersøgelserne viser:

1. Klimapåvirkningen har ikke været aggressiv nok eller/og ikke tidlig nok, til at påføre murværket synlige skader under de givne forhold, dvs. murværket har været robust
2. Fugtpåvirkningen har været mindre aggressiv, end det i nogle tilfælde ses i skadessager

Ad 1: Der blev ikke konstateret synlige skader.

Ad 2: Tyndslib viser, at der er sket udfældninger af kalk og i mindre omfang, ettringit, i luftporerne. Dette dokumenterer, at klimapåvirkningen med berisling har haft en indflydelse på hærdningsforløbet i fugerne. Sammenlignes udfældningerne med erfaringer fra besigtigelser med forvittringer, ses det at omfanget er noget mindre end det forekommer i skadessager, hvor der ses tegn på voldsom fugtpåvirkning. Den udførte fugtpåvirkning i klimakammeret kan altså ikke betragtes som en aggressiv påvirkning.

Der blev kun fundet 1 tyndslib med grynet struktur af bindemiddel, formentlig pga. for sen komprimering. Den første frostpåvirkning skete 9 dage efter opmuring. Det må konkluderes, at murene på dette tidspunkt har været robuste over for frost. Dette understøttes af, at den første fugtmåling 1 døgn efter opmuring viste, at fugten var transporteret ud af mørtelfugerne. For receptmørtler har det traditionelt været antagelsen, at når vandindholdet i mørtlen kort efter opmuring kunne nedbringes til under 7-8% ved sugning fra murstenene, så var fugerne beskyttet mod frostska-

Karbonatisering

Karbonatiseringsgraden af murværksfuger indgår i tolkning af mikromiljøet i murværket.

Der blev i de 8 tyndslib målt karbonatiseringsdybder fra 2 til 10 mm, fra fugeoverfladen. Disse dybder er forventelige for fuger med en alder på ca. 1½ måned. Variationen ses primært at være styret af nedsat vedhæftning i form af dårlig kontakt mellem mørtel og mursten nær overfladen. Dårlig kontakt er konstateret i form af luftlommer mellem mørtel og mursten, i 3 af de 8 prøver. Fænomenet er tilfældigt fordelt mellem prøver og tilskrives variationer i udførelse. Dog er nedsat vedhæftning ifølge Teknologisk Instituts erfaringer et fænomen, som kan relateres til højt luftindhold i friskmørtler (over ca. 12%). Den øgede karbonatiseringsgrad ved nedsat vedhæftning skyldes givetvis bedre adgang for luftens CO₂.

Forskelle i karbonatiseringsdybder kunne ikke relateres entydigt til andre parametre, og således heller ikke til styrkeudviklingen. Det svarer til forsøg udført af Teknologisk Institut med receptmørtler, hvor fugtbelastede prøveemner opnåede ringere mørtelstyrker end ikke-fugtbelastede, uden at dette kunne relateres til forskelle i karbonatisering.