

Kvalitetsvariasjon i murverk som følge av vannmengde i mørtelen

Fredrik Slapø

Master i Bygg- og miljøteknikk
Innlevert: juni 2017
Hovedveileder: Tore Kvande, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Kvalitetsvariasjon i murverk som følge av vannmengde i mørtelen	Dato: 30.06.2017		
	Antall sider (inkl. bilag): 79		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Oppgaven er utført av:			
			
Fredrik Slapø			
Faglærer/veileder: Professor Tore Kvande og doktorgradsstipendiat Jorun-Marie Hisdal			

Ekstrakt:

Denne masteroppgaven bygger videre på fordypningsprosjektet med tittel *Variasjon i mørtelkonsistens for tegl* som ble skrevet av undertegnede høsten 2016. Masteroppgaven har til hensikt å undersøke om ulik mørtelkonsistens påvirker fasthetsegenskaper og regntetthet for teglmurverk. Variasjonsområde for mørtelkonsistensen som er brukt i forsøkene sammenfaller med det som er funnet på byggeplass og anbefalt vannmengde fra produsent. Det er valgt å utføre forsøke med tre ulike mørtelkonsistenser; tørr, middels og våt.

Fasthetsegenskapene som er undersøkt er initials kjærfasthet, bøyestrekfasthet og trykkfasthet. Til sammen er 51 prøvestykker murt og testet. Våt mørtel ga betydelig forbedring på skjær- og bøyestrekfasthet, mens trykkfasthet i liten grad ble påvirket av vanninnholdet.

Slagregnforsøk er gjennomført med fire veggfelt på 1 m² med tørr, middels og våt mørtel. Det siste ble også murt med våt mørtel, men med en annen teknikk for å fylle stussfugene. Det ble funnet klare forskjeller på tetthet, med fordel til felt murt med våt mørtel. Etter tørking ble de samme fire veggfeltene påført ulike typer impregnering og testet nok en gang for slagregn.

Hovedkonklusjonen er at mer vann gir bedre murverk, både med hensyn på heft og slagregntetthet. Konklusjonen støttes av fasthetsforsøk, slagregnforsøk og tynnslipsanalysen som er gjennomført i masteroppgaven.

Stikkord:

1. Murverk i tegl
2. Vannmengde i murmørtel
3. Fasthetsegenskaper
4. Slagregntetthet



(sign.)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for bygg og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet våren 2017 og omfanget er 30 studiepoeng.

Arbeidet med oppgaven har vært givende på mange måter. Jeg har fått jobbe mye i laboratoriet og har fått god innsikt i internasjonal forskning innen murerfaget. Ikke minst har jeg fått jobbe med kunnskapsrike og engasjerte mennesker.

En stor takk må rettes til min meget kompetente og engasjerte veileder Tore Kvande, og til Jorun-Marie Hisdal som kom inn som veileder i mai. Jardar Lohne har også bidratt med uunnværlig hjelp under skriving av vitenskapelige artikler. Klima 2050 har finansiert prosjektet og muliggjort et omfattende prøveprogram ved flere laboratorier. Weber Norge har sponset mørtel og vist interesse for masteroppgaven.

Det har ikke manglet på god hjelp, tips og veiledning, tusen takk Karl Vincent Høiseth, professor og instituttleder ved Institutt for konstruksjonsteknikk, Noralf Bakken, forskningsingeniør ved SINTEF, Steinar Seehuus, laborant ved Institutt for konstruksjonsteknikk, Ole Aunrønning, avdelingsingeniør ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, Øystein Holmberget og Stig Roar Rudolfsen, seniortechnikere ved SINTEF.

Sammendrag

Denne masteroppgaven bygger videre på fordypningsprosjektet med tittel *Variasjon i mørtelkonsistens for tegl* (Slapø, 2016). Fordypningsprosjektet dokumenterer betydelig variasjon i mørtelkonsistens for teglmuring ved ulike byggeplasser i Trøndelag. Masteroppgaven har til hensikt å undersøke om ulik vannmengde i mørtel påvirker fasthetsegenskaper og regntetthet for teglmurverk. Variasjonsområde for mørtelkonsistensen som er brukt i forsøkene sammenfaller med det som er funnet på byggeplass. Det er begrenset med forskning og kunnskap på området, og det som er kjent om vannmengde i mørtel benyttes i liten grad.

Fasthetsegenskapene som er undersøkt er initials kjærfasthet, bøyestrekfasthet og trykkfasthet og prøving er gjort i henhold til NS-EN 1052 del 1, 2 og 3 (Standard Norge, 1999; 2013a; 2016). For de tre mørtelkonsistensene ble det murt 5-7 prøvestykker for hver av tre fasthetsegenskapene, til sammen 51 prøvestykker. Det ble funnet at initials kjærfastheten var 7 ganger høyere ved bruk av våt istedenfor tørr mørtel. Ved bruk av våt mørtel økte bøyestrekfastheten med 60 prosent sammenlignet med tørr mørtel. Initialskjær- og bøyestrekfasthetsverdiene fra testing var generelt lavere enn karakteristiske verdier fra nasjonalt tillegg i NS-EN 1996-1-1 (Standard Norge, 2013b). For trykkfastheten var det derimot neglisjerbare forskjeller mellom de ulike mørtlene og den var generelt høy.

Prøvestykkene som ble testet for slagregn, ble murt med de samme tre konsistensene som prøvestykkene for testing av fasthetsegenskaper. Det ble murt fire veggfelt på 1 m². Disse ble murt med tørr mørtel, middels mørtel og våt mørtel. Den siste ble også murt med våt mørtel, men med en annen teknikk for å fylle stussfugene. Testing av prøvene ble gjennomført i slagregnskap etter metode NBI 29/1983 (Norges byggforskningsinstitutt, 1983). Måling av vanngjennomgang etter fullstendig vannmetting viste at 10 ganger så mye vann slipper gjennom feltet med den tørre mørtelen sammenlignet med våt mørtel. Etter tørking ble de sammen fire veggfeltene påført ulike typer impregnering og testet nok en gang for slagregn. Funnene viser at impregnering i noen grad begrenser hvor hurtig feltene blir fuktet opp, men ser ikke ut til å ha noe effekt på maksimal vanngjennomgang.

Hovedkonklusjonen er at mer vann vil gi bedre murverk, både med hensyn på heft og slagregntetthet. Konklusjonen støttes av fasthetsforsøk, slagregnforsøk og tynnslipsanalyse som er del av dette arbeidet. Den støttes også av forsøk presentert i sammenlignbare forskningsprosjekt av Costigan og Pavia (2014), og Baker (1982). Regler og anbefalinger rundt vannmengde i mørtel i Norge er funnet å være manglende og utydelige i den grad de finnes. Det er ønskelig at tydelige anbefalinger vedrørende vannmengde implementeres av mørtelprodusenter og inkluderes i pensum for murere. Det er også grunn til å undersøke nærmere om tabellverdier for bøyestrek- og initialskjærfasthet er til sikker side, det vil si at ved prøving tåler materialet mer enn verdiene i standardverk.

Summary

This master thesis builds on the specialization project entitled *Variation in masonry mortar consistency* (Slapø, 2016). The project documents broad variation in masonry mortar consistency through seven building site visits in Central Norway. This master thesis intends to investigate whether differences in mortar water content affect quality, both structural properties and its resistance to driving rain. The range of mortar consistency used in the experiments coincides with what has been found on construction site. There is limited research and knowledge in this area.

Structural properties have been tested on basis of NS-EN 1052 part one, two and three (Standard Norge, 1999; 2013a; 2016). For each of the structural properties – shear strength, bending tensile strength and compressive strength – and for each of the three mortar mixes, 5-7 specimens were built, in total 51 masonry specimens. Bond was found to be strongly influenced by mortar water content, where the wet mortar produced the strongest bond. Increase in shear strength was seven-fold from dry to wet, whereas for bending it was 60 percent. Characteristic bending and shear strength achieved from tests were generally lower than their equivalent tabulated values in Norwegian Annex of Eurocode 6 (Standard Norge, 2013b). However, compressive strength tests gave high strength, well above code values, with negligible differences due to variations in mortar water content.

The specimens tested for resistance to driving rain were built with the same three mortar consistencies as for the structural properties. Four panels of 1 m² were built, two with wet mortar, where one of them was built using another workmanship technique by pushing the head joint as opposed to buttering them, one with medium mortar and one with dry mortar. Panels were tested in a driving rain apparatus for 36 hours after NBI 29/1983 (Norges byggforskningssinstitutt, 1983) and photographed every five minutes. Large variations were found, the panels built with wet mortar had only about one tenth of the water penetration of panels built with dry mortar. After a drying process the panels were impregnated with different water repellents and retested. Impregnation seemed to keep the panels dry for a prolonged period, however, unable to reduce water penetration after the panels was soaked.

The main conclusion is that higher mortar water content will give better masonry, both regarding bonding and resistance to driving rain. This conclusion is supported by structural tests, driving rain tests and the thin section analysis that are part of this work. Two international articles (Costigan and Pavia, 2014; Baker, 1982) addressing the impact of mortar water further strengthen the conclusion. Guidelines in Norway was found lacking on this subject. Therefore, it is recommended to implement clear recommendations on mortar water content from mortar producers as well as in masonry curriculum. There is reason to investigate further whether tabulated values on flexural and initial shear strength are in fact conservative. Equally, investigate whether requirements to mortar water content in standards would be expedient.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Forarbeidet.....	2
1.3	Hovedmål for oppgaven.....	3
1.4	Oppgavens struktur	4
1.5	Avgrensning av oppgaven	5
2	Metode.....	7
2.1	Litteraturstudie	7
2.2	Utarbeidelse av prøveprogram.....	8
2.3	Prøving av initialskjærfasthet	11
2.4	Prøving av bøyestrekfasthet	12
2.5	Prøving av trykkfasthet	13
2.6	Prøving av bøyestrek- og trykkfasthet for murmørtel.....	14
2.7	Felt for slagregnprøving	15
2.8	Impregnering.....	17
2.9	Arbeidsteknikker	18
3	Konklusjon	19
4	Forslag til videre arbeid	21
	Bibliografi	23
	Artikler.....	27

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

Med hjerte for murerfaget og en bakgrunn som murersvenn, murmester og med en bachelorgrad i konstruksjonsteknikk var mur et naturlig valg av tema. Målet med masteroppgaven er å bidra til å gjøre en positiv forskjell innen fagområdet.

Variasjon i tilsatt vannmengde i murmørtel på byggeplass varierer i stor grad, da det benyttes mørtel med konsistens innenfor hele spekteret det er praktisk mulig å mure med. Denne erfaringen deles både av undertegnede og veileder Tore Kvande. Hypotesen er at muring med tørr mørtel vil gi dårligere heft og dermed dårlig inititalskjærfasthet, bøyestrekfasthet og slagregntetthet. Høsten 2016 skrev undertegnede et fordypningsprosjekt som et forprosjekt til denne masteroppgaven (Slapø, 2016). Forprosjektet avdekket store forskjeller i blandingsforhold for murmørtel på byggeplasser.

Etter mange års erfaring er mitt inntrykk fra byggeplasser at bruken av spesielt tørr mørtel har økt i takt med den fortsatt økende arbeidsinnvandringen fra EU-land i Øst-Europa (SSB, 2017). Årsaken kan være forskjeller i teknikker og tradisjoner så vel som i materialer mellom landene. Det tyder på at bruk av spesielt tørr mørtel er relativt nytt og at det derfor ikke er fanget opp av andre.

Bygging av konstruksjoner uten tilstrekkelig kontroll og kunnskap gir assosiasjoner til Rotvollhaugen bru (Reinertsen, 2013) og skolene i Edinburgh (Structural-Safety, 2017). Uten å gå nærmere inn på de nevnte sakene er disse eksempler på hvilke alvorlige konsekvenser bygging uten tilstrekkelig kunnskap og kontroll kan få. På bakgrunn av dette er det relevant å undersøke hvilken påvirkning vannmengde i mørtel har på murverkets fasthetsegenskaper og kontrollere dette opp mot gjeldende regelverk for murkonstruksjoner.

Byggeskader koster samfunnet omtrent 17 milliarder kroner årlig (Garathun, 2017). Kvande og Lisø (2009) har undersøkt byggeskader på murverk der de fant at

hoveddelen av skadene direkte eller indirekte er knyttet til tettheten til murverket. Også ut ifra et kostnadsperspektiv vil det være relevant å undersøke om vannmengde eller arbeidsteknikk har konsekvenser for murverkets tetthet.

Murverk har høye investeringskostnader i et klimaperspektiv, men meget god bestandighet veier opp for dette over tid. Det fordrer en kvalitet som gir den forventede bestandigheten. Verden og Norge står ovenfor en utfordring med å imøtekomme og begrense klimaendringene (IPCC, 2014; Hanssen-Bauer et al., 2015). Det å finne ny kunnskap om byggeteknikk for å øke kvaliteten er en liten del av arbeidet med å imøtekomme og begrense klimaendringene.

1.2 Forarbeidet

Fordypningsprosjektet (Slapø, 2016) danner grunnlaget for arbeidet som er rapportert i masteroppgaven. Hypotesen i prosjektet var at det var stor variasjon i vannmengde og dermed konsistens i murmørtel. Denne ble bekreftet gjennom besøk på byggeplasser høsten 2016; fem i Trondheim, en i Levanger og en i Steinkjer. Det ble samlet prøver og gjort enkle feltforsøk på alle byggeplassene. Hva som ligger til grunn for valg av mørtelkonsistens på byggeplass ble drøftet i fordypningsprosjektet. Kort oppsummert benyttes tørr mørtel for å begrense søl og for lettere å kunne mure presist. Våt mørtel benyttes for å kunne mure lettere og raskere.

Planlegging av et prøveprogram var påbegynt som del av fordypningsprosjektet. Formålet var å teste strukturell og byggeteknisk kvalitetsvariasjon som følge av vanninnhold i murmørtel. Variasjonsområdet for vannmengde i mørtelen som skulle brukes i prøveprogrammet ble bestemt ut i fra funnene på byggeplass. At prøveprogrammet ble basert på faktiske forhold bidrar til å øke relevansen til resultatene fra forsøkene. Materialene som ble brukt ble valgt for å representere typisk norske materialer, for at funnene skulle være mest mulig representative for den norske murbransjen. Mørtelen som ble brukt var Weber M5 og det ble brukt teglstein Haga ru rød hulltegl fra Wienerberger.

I tidligfasen av prøveprogrammet ble det brukt tre ulike vannmengder i murmørtelen for muring av prøvestykker for testing av initials kjærfasthet. En våt, en middels og en tørr mørtelblanding ble brukt. For skjærprøvene ble det per 25 kg tørrstoff blandet med 4,2 liter vann for våt mørtel, 3,9 liter vann for middels mørtel og 3,6 liter vann for tørr mørtel. Dette ga rystebordverdier etter NS-EN 1015-3 (Standard Norge, 2004) på 148 mm, 165 mm og 196 mm. Den våte mørtelen var i nærheten av våtbeste murbare konsistens, mens den tørre var veldig tørr og stiv å arbeide med.

1.3 Hovedmål for oppgaven

Ambisjonen med oppgaven er å kunne bidra til konkrete endringer som øker kvaliteten:

- Formålet med masteroppgaven er å undersøke om ulik vannmengde i murmørtel påvirker fasthetsegenskaper og regntetthet for teglmurverk.
- Utforme og gjennomføre prøveprogram og litteraturstudie på en slik måte at det er mulig å komme med konkrete og praktiske anbefalinger som kan bidra til økning av kvalitet for teglmurverk.
- Kommunisere resultatene ut til forskere på fagområdet og til murnæringen i Norge slik at faktiske endringer kan skje.

Det er begrenset med forskning og kunnskap på området, og masteroppgaven vil derfor være et viktig bidrag til murbransjen.

1.4 Oppgavens struktur

Denne oppgaven er ikke utformet som en tradisjonell masteroppgave, men som en samling vitenskapelige artikler og tekniske fagartikler oppsummert i en kappe. Forskingen er beskrevet i de vitenskapelige artiklene og vil ikke bli gjentatt i kappen. Hensikten med kappen er å ramme inn artiklene og dekke forhold som ellers ville blitt tatt med i en tradisjonell masteroppgave. Kappen beskriver metode og begrunner valg som er tatt underveis. Det tas også med noe materiale som ikke er tatt med i artiklene.

Kapittel 2 I metodekapittelet redegjøres det for valg av metode og forskningsspørsmålene blir presentert. Presentasjonen av litteraturstudie er mer omfattende enn tilsvarende deler i artiklene, det samme gjelder utarbeidelse av prøveprogrammet. Underkapitlene om selve prøvingen er hovedsakelig komplementære og gjengir bilder og annet som ikke fikk plass i artiklene.

Kapittel 3 Konklusjonen utdyper og sammenstiller konklusjonene fra de vitenskapelige artiklene.

Kapittel 4 Kapittelet inneholder forslag til videre arbeid og hvordan tema fra oppgaven kan jobbes med videre, for å ytterligere styrke kunnskapen på fagområdet mur.

Artikler De vitenskapelige artiklene ligger vedlagt slik de er sendt inn i den hensikt å bli publisert. De tekniske fagartiklene som er publisert gjengis slik de er publisert. Artiklene er skrevet i samarbeid med veiledere og andre fagspesialister, og forfatterbidrag for den aktuelle artikkelen gjengis før selve artikkelen.

Fem artikler har blitt skrevet som en del av masteroppgaven; to vitenskapelige artikler og tre tekniske fagartikler. Essensen i masteroppgaven er de vitenskapelige artiklene, det er også der resultater, drøfting og relevant litteratur gjengis. Effekten av vanninnhold i murmørtel deles naturlig i to artikler, der en tar for seg fasthetsegenskaper og den andre tar for seg slagregntetthet. Disse artiklene er skrevet i den hensikt å bli publisert i internasjonale journaler og krever at leseren har noe kjennskap til fagområdet for å gi fullt utbytte. I tillegg er det skrevet tre tekniske fagartikler med mål om å nå et bredere publikum, og da spesifikt murbransjen i Norge. De tekniske fagartiklene oppsummerer funnene fra de vitenskapelige artiklene med vekt på praktisk nytteverdi for murbransjen.

Vitenskapelige artikler

- Slapø, F., Kvande, T., Høiset, K. V., Hisdal, J.-M. og Lohne, J. (2017) Mortar water content impact on masonry strength. (*Upublisert: sendt til Masonry International journal for vitenskapelig gjennomgang 16. juni 2017*).
- Slapø, F., Kvande, T., Bakken, N., Haugen, M. og Lohne, J (2017) Masonry's resistance to driving rain – mortar water content and impregnation. (*Upublisert: sendt til MDPI Buildings for vitenskapelig gjennomgang 16. juni 2017*).

Tekniske fagartikler

- Slapø, F. og Kvande, T. (2017) Mørtelkonsistens avgjørende for kvaliteten på murverk, *mur+betong*, 2/2017, s. 51-52.
- Slapø, F. og Kvande, T. (2017) Best med våt murmørtel, *Byggeindustrien* («Nytt fra NTNU»), 8/2017, s. 34.
- Slapø, F. og Kvande, T. (2017) Bortkastet impregnering mot slagregn, *Byggeindustrien* («Nytt fra NTNU»), *akseptert for publisering i 12/2017*.

1.5 Avgrensning av oppgaven

Masteroppgaven har som fokus å finne variasjoner i kvaliteten på teglmurverk ut i fra vannmengde i murmørtel. Det er et bevisst valg å ikke gå nærmere inn på de tyngre teoretiske aspektene. I artikkelen om fasthetsegenskapene er det ikke sett nærmere på statikken. Det samme gjelder fuktransport som fordamping og kapillær krefter i artikkelen om slagregntetthet. Det er heller ikke gått i dybden på virkemåte og kjemisk oppbygning for impregneringsmidlene. Dette er tema som kunne beriket oppgaven ved å bidra til å gi en bedre forståelse av hvordan ting henger sammen. Samtidig går dette utover formålet med oppgaven og er ikke nøkkelkompetanse hos undertegnede. Inntrykket fra litteraturstudiene er at det allerede finnes betydelig litteratur på ovennevnte tema.

Kapittel 2

Metode

2.1 Litteraturstudie

For å skrive gode vitenskapelige artikler er det viktig å ha oversikt over eksisterende forskning. Litteratursøkene ble inspirert av metoden «scoping study» beskrevet av Arksey og O'Malley (2005). Metoden er særlig nyttig for emner med en begrenset mengde forskning, da den innebærer en bred fremgangsmåte for å identifisere relevant litteratur.

Det første og noe av det viktigste er å formulere gode forskningsspørsmål. Presise forskningsspørsmål avgrensner arbeidet ved å klart definere hva en skal svare på og dermed også hva som ikke skal besvares.

Artikkelen *Mortar water content impact on masonry strenght* svarer på følgende forskningsspørsmål:

- Hvilken effekt har vannmengde i murmørtel på bøyestrekfasthet?
- Hvilken effekt har vannmengde i murmørtel på initialskjærfasthet?
- Hvilken effekt har vannmengde i murmørtel på trykkfasthet?

Artikkelen *Masonry's resistance to driving rain – mortar water content and impregnation* svarer på følgende forskningsspørsmål:

- Hvordan påvirker vannmengde i fersk murmørtel murverkets slagregntetthet?
- Hvilken effekt har impregnering på murverkets slagregntetthet?

Forskningsspørsmålene gir grunnlag for å finne søkeord. Søkeordene som ble benyttet i ulike kombinasjoner er:

Engelske ord: Brick, Bond, Clay brick, Compressive strength, Consistency, Driving rain, Flexural strength, Flow, Hydrophobic, Impregnation, Masonry, Masonry strength, Mortar, Nano, Nano-particulate, Precipitation, Rain, Shear strength, Silane, Silicone, Slixane, Surface treatment, Water content, Water repellent, Wind driven rain, Workability.

Norske ord: Mur, Murmørtel, Mørtel, Rystebord, Slagregn, Tegl.

Søkemotorene som ble benyttet var Oria og Google Scholar.

Hensikten med det innledende søket var å få et overblikk over hva som finnes av relevant litteratur, og videre identifisere kunnskapshull. I tillegg til å gjennomføre søk er særlig relevante kilder gått igjennom for hånd, det vil si at alle titler er lest i hensikt å identifisere relevant litteratur. Dette gjelder Masonry International (journal), publikasjoner i HERON (for alle titler som inneholdt *masonry*) og 9th International Brick and Masonry Conference. Videre er også bibliografier i relevante artikler benyttet for å finne litteratur. Funnen fra litteraturstudiet gjengis i artiklene.

2.2 Utarbeidelse av prøveprogram

Overordnet mål for prøveprogrammet var å sammenligne kvalitet på murverk ved bruk av tørr, middels og våt murmørtel. I tillegg var det viktig at materialene og utførelsen var lik som for typiske norske teglfasader. Samt at det var etterprøvbart og sammenlignbart med andre forsøk og verdier fra NS-EN 1996-1-1 (Standard Norge, 2013b).

Vannmengde ble bestemt som del av fordypningsprosjektet. Ved muring av prøvestykker under arbeidet med masteroppgaven viste det seg at samme mengde vann og mørtel ikke resulterte i samme konsistens som tidligere. Med bruk av den nye leveransen av mørtel ga vannmengdene mye stivere mørtel. Det ble derfor besluttet å benytte rystebordverdi etter NS-EN 1015-3 (Standard Norge, 2004), sammen med opplevd konsistens som måleenhet for vannmengde. Gjennomsnittlig rystebordverdi, ved å vekte prøvestykkene for initialskjærfasthet, bøyestrekfasthet, trykkfasthet og slagregntetthet likt, var 146 mm, 169 mm og 193 mm.

Ved prøving av fasthetsegenskaper er det vanskelig å isolere en egenskap som for eksempel trykk- eller skjærfasthet. Prøving resulterer i en kompleks belastning hvor alle fasthetsegenskapene til materialet har betydning, ikke bare den egenskapen en ønsker å teste. Murverk er et komposittmateriale hvor trykkfasthet, strekkfasthet, skjærfasthet og elastisitetsmodul for både mørtel og stein har betydning under prøvingen, og hvor heften mellom materialene er avgjørende. Prøving etter standard gir karakteristiske verdier som kan benyttes i prosjektering, samt at resultatene kan sammenlignes direkte med tidligere og fremtidige forsøk. Derfor er det valgt å basere den strukturelle delen av prøveprogrammet på standardserien NS-EN 1052 Prøvingsmetoder for murverk (Standard Norge, 1999; 2013a; 2016).

Det finnes ingen norsk standard for slagregnforsøk på murverk, SINTEF har imidlertid en prosedyre NBI 29/1983 (Norges byggforskningsinstitutt, 1983) som er utviklet for slagregntesting av pusset murverk. Det ble besluttet at slagregnforsøkene skulle utføres etter denne prosedyren.

Både validiteten (gyldigheten) og reliabiliteten (påliteligheten) styrkes ved bruk av standardiserte metoder, at man faktisk undersøker det man ønsker å undersøke. I tillegg styrkes både validiteten og reliabiliteten gjennom bredden i prøveprogrammet, ved at det er utført mange ulike forsøk som henger sammen. For eksempel kan en si noe om heften mellom stein og mørtel ut fra hvilket som helst av forsøkene på initialskjærfasthet, bøyestrekfasthet, trykkfasthet, slagregntetthet eller tynnslipanalysen. All bygging av prøvestykker og prøving er utført av undertegnede, samt at det kun er benyttet en type stein og en type mørtel, som øker risikoen for systematiske feil. Større risiko for systematiske feil svekker validiteten.

Murprodukter kommer i mange ulike format og standardene beskriver derfor ikke en eksplisitt størrelse for prøvestykker, men gir rammer som antall stein, fuger eller at høyde er minst to ganger bredde. Dette gir noe spillerom for hvordan prøvestykkene utformes. En oversikt over prøvestykkene presenteres i tabell 1. Alle prøvestykker er bygget etter krav i NS-EN 1052 (Standard Norge, 1999; 2013a; 2016).

Tabell 1. Oversikt over prøvestykker

Egenskaper og standard	Antall murte prøvestykker	Størrelse	Kommentar
Bøyestrekfasthet NS-EN 1052-2 ¹	3 x 5 = 15	To stein lang og fem skift høy.	Murt for trykkfasthet, men testet for bøyestrekfasthet.
Initialskjærfasthet NS-EN 1052-3 ²	3 x 7 = 21	Tre helstein murt på hverandre.	Murt høsten 2016, men testet under masteroppgaven.
Trykkfasthet NS-EN 1052-1 ³	3 x 5 = 15	To stein lang og tre skift høy.	Murt for bøyestrekfasthet, men testet for trykkfasthet.
Mørtelprøver NS-EN 1015-11 ⁴	3 x 3 = 9 (x 2 = 18)	40x40x160 mm ³	Prøvene knekkes og delene brukes til trykkprøver.
Slagregn NBI 29/1983 ⁵	4	990x990 mm ² . Fem stein lang (inkl. halv- og ¾ stein) og 13 skift høy.	Disse ble senere impregnert og testet på nytt.

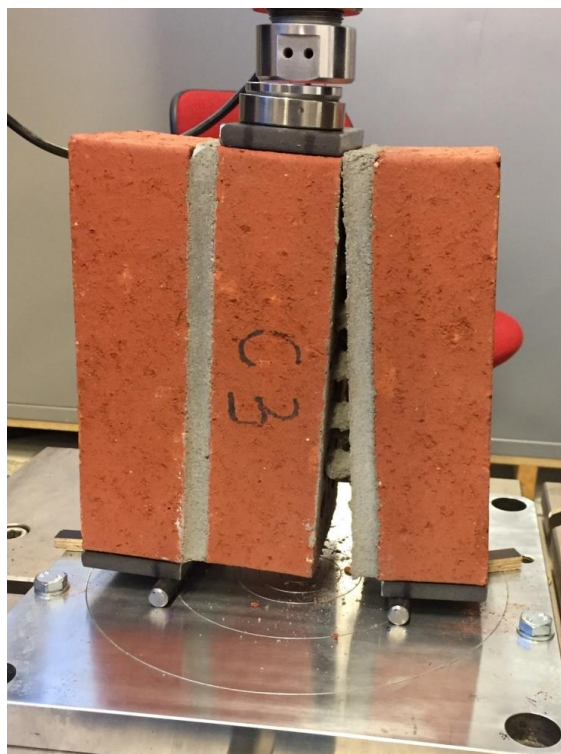
¹ (Standard Norge, 2016), ² (Standard Norge, 2013a), ³ (Standard Norge, 1999),

⁴ (Standard Norge, 2000), ⁵ (Norges byggforskningsinstitutt, 1983)

Under arbeidet med beregning av hvor opplagerne for bøyestrekprøvingen skulle plasseres ble det oppdaget at prøvestykket måtte påføres en voldsom last for å få tilstrekkelig moment. Dette var et problem både fordi det ville ført til at vi måtte bytte hydraulisk presse og ikke minst fordi lasten var så stor at den ville nærmet seg trykkfastheten til prøvestykkene. Dette ville gjort resultatene upålitelige. Derfor ble prøvestykkene med fem skift som var murt for trykkfasthet brukt til forsøk på bøyestrekfasthet. Tre-skiftsprøvene ble testet for trykkfasthet. Disse var ikke innenfor standardens krav, da de var tre skift istedenfor fem som er kravet. En formfaktor er beregnet for å ta hensyn til avviket, dette er nærmere beskrevet i artikkelen *Mortar water content impact on masonry strength*.

2.3 Prøving av initialskjærfasthet

Stålplatene som vist i figur 1 er merket med mørke streker for å kunne plassere rullelagrene riktig. I overkant er rullelagrene erstattet med ett sfærisk lager da teglet er for ujevnt til å bli testet med rullelager over og under uten at prøven flytter seg. Etter NS-EN 1052-3 (Standard Norge, 2013a) kan det benyttes en av to prøvemethoder; A og B. Metode A, med sideveis last, krever minst tre ulike laster og minst tre prøvestykker for hver last. Deretter ekstrapoleres regresjonslinjen for å finne skjærfasthet uten last. Her er metode B uten sidelast benyttet, som kun krever 6 prøvestykker.

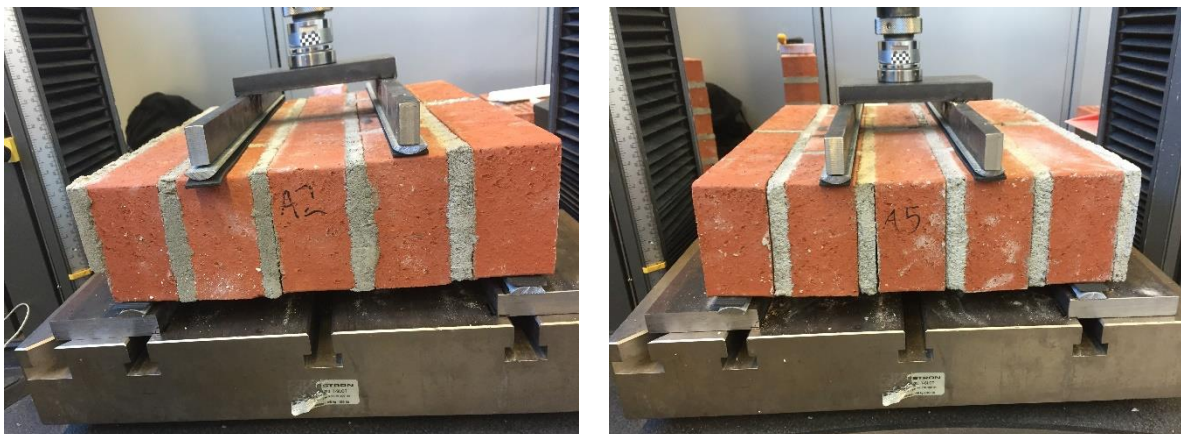


Figur 1. Skjærprøvene etter brudd

2.4 Prøving av bøyestrekfasthet

Oppsettet for prøving av bøyestrek etter NS-EN 1052-2 (Standard Norge, 2016) er vist i figur 2. Standarden krever en avstand mellom indre lager på 0,4 til 0,6 ganger avstand mellom ytre lager. Bildet til venstre med prøve A2 viser første oppsett av riggen, med avstand mellom indre lager 0,5 ganger avstand mellom ytre lager. Dette oppsettet førte til feil bruddform (brudd utenfor indre lager) for to av de fire første prøvestykkene. Derfor ble riggen bygget om slik at avstanden mellom indre lager var 0,4 ganger avstand mellom ytre. Etter ombygging var det ingen brudd utenfor indre lager.

Det kan også ses fra figur 2 hvorfor riggen til høyre var bedre. Ved å ha de indre lagrene nærmere hverandre blir lasten for å oppnå samme moment redusert som igjen fører til mindre skjærkraft og moment i fugen mellom indre og ytre lager. Forskjellen kan ses ved at på bildet til venstre er stålbiten som skal fordele linjelasten sveiset i ytterkant av lastfordelingsplaten, mens de på bildet til høyre er flyttet 30 mm nærmere hverandre ved å sveise fast stålbiten lengre inn på lastfordelingsplaten.



Figur 2. Bøyestrekprøver

Figuren viser at begge prøver har gått til brudd til venstre for steinen i midten, som er gyldig bruddform.

2.5 Prøving av trykkfasthet

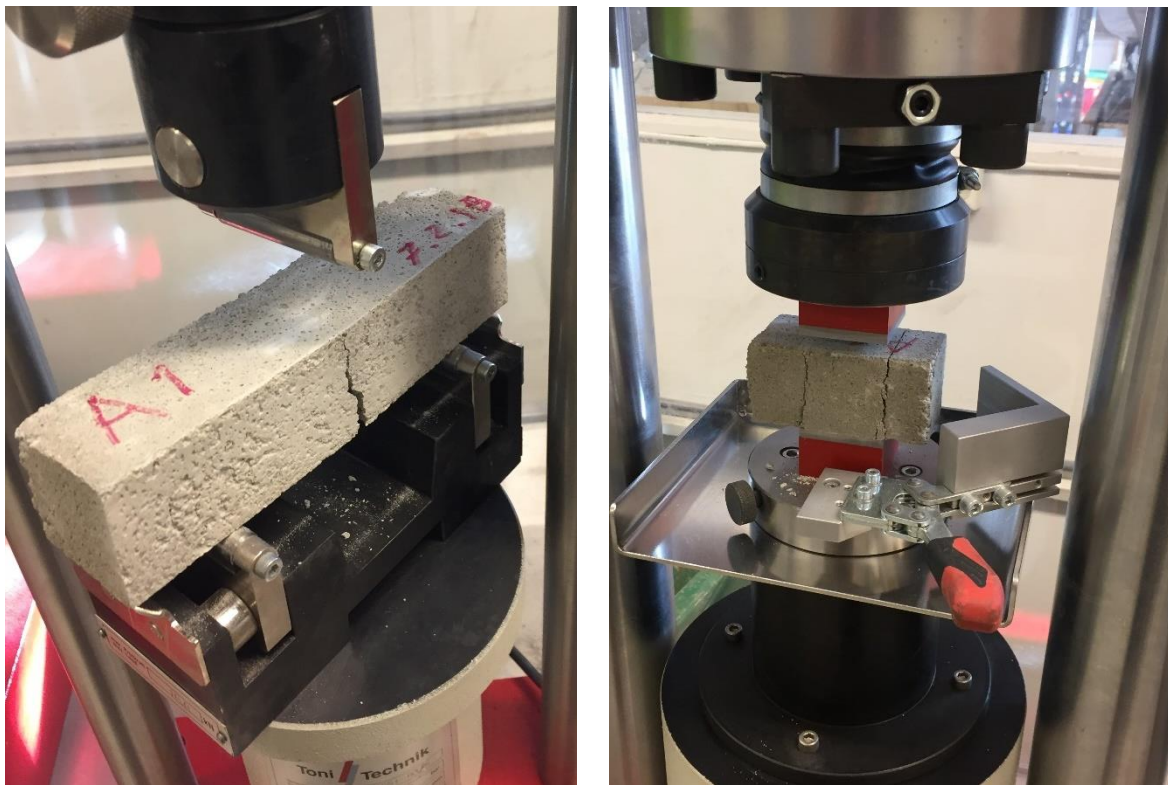
NS-EN 1052-1 (Standard Norge, 1999) krever at lastfordelingsflatene skal være plane og parallelle, og at dette kan oppnås ved bruk av for eksempel sliping og stålplater. Før prøvestykkene ble plassert i den hydrauliske pressen ble de slipt for hånd på begge sider for å jevnes ut. Dette kan ses i figur 3 på bildet til venstre. Prøvene ble satt opp med 12 mm asfaltplater og 20 mm stålplater på begge sider (for jevnere lastfordeling), som vist i figur 3 i bildet til høyre.



Figur 3. Sliping og trykking av prøvestykker

2.6 Prøving av bøyestrek- og trykkfasthet for murmørtel

Figur 4 viser prøving av mørtelprismer etter brudd. Bildet til venstre viser første forsøk hvor prøven knekkes og bøyestrekfastheten måles. Fra bøyestrekprøven får en to deler hvor begge testes for å finne trykkfastheten. Siden mørtelegenskapene betraktes som materialdata og ikke resultat i artikkelen *Mortar water content impact on masonry strength*, vil de bli kommentert her. Trykkfastheten var vesentlig høyere enn forventet, med et gjennomsnitt på 10,2 N/mm² for våt mørtel og 16,3 N/mm² for tørr mørtel. Etter tabell 3 i NS-EN 1052-1 (Standard Norge, 1999) skal M5-mørtel ha midlere trykkfasthet mellom 5,0 og 7,5 N/mm². Til sammenligning fikk Bjartnes og Brønstad (2013) i samme prøvemaskin trykkfasthet fra 9,1 til 10,2 N/mm², noe de karakteriserer som svært høye verdier for en M5-mørtel.



Figur 4. Mørtelprisme under prøving av bøyestrek- og trykkfasthet

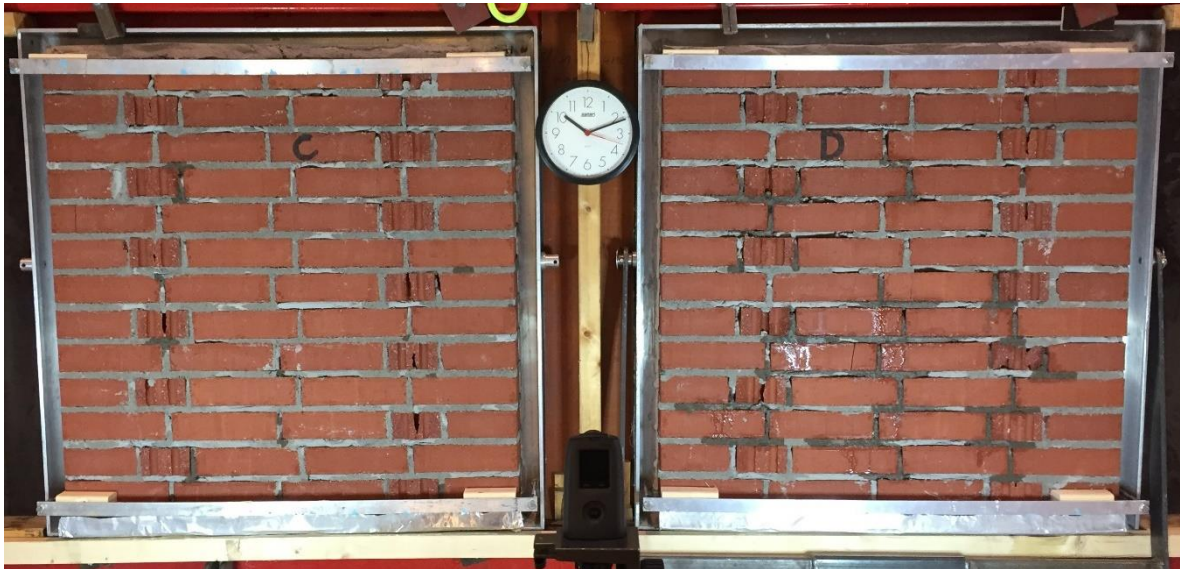
2.7 Felt for slagregnprøving

Figur 5 viser hvordan stein suger vann fra mørtelen. Feltet (A) er murt med tørr mørtel over en periode på tre timer og bildet er tatt umiddelbart etterpå. Nederst er det kun en tynn stripe midt på steinen som ikke er fuktig, mens det mot toppen kun er en stripe langs kantene på steinen som er fuktig. Det er laget en støpekant øverst for å tilpasse feltet til rammen. Støpekanten var dekket av flensen på rammen og en silikonfuge under prøving, det vil si uten påvirkning på tettheten. Alle felt er murt på paller mellom hjørnelekter.



Figur 5. Nymurt felt (A) for slagregnforsøk viser fuktopptak i stein

Figur 6 viser felt C og D under slagregnprøving. Kjøringen startet klokken 10:00 og klokken viser at feltene har stått i omtrent 12 minutter ved bildetaking. Kameraet, nederst i midten av bildet, tar bilder hvert femte minutt. Under veggfeltene vises traueene av grov aluminiumsfolie som brukes til å fange opp vannet som trenger igjennom veggen, for å kunne måle vannmengden.



Figur 6. Baksiden av felt C og D under slagregnforsøk

Veggfeltene fra innsiden av slagregnskapet vises i figur 7. Bildet gir et visuelt inntrykk av slagregnsbelastningen. Dyserekken ligger i høyde med det tredje skiftet fra toppen, og vannmengden er stor nok til at det er en tilnærmet kontinuerlig vannfilm på veggfeltene.



Figur 7. Veggfelt fra innsiden av slagregnskapet under forsøk. **Foto:** Geir Mogen

2.8 Impregnering

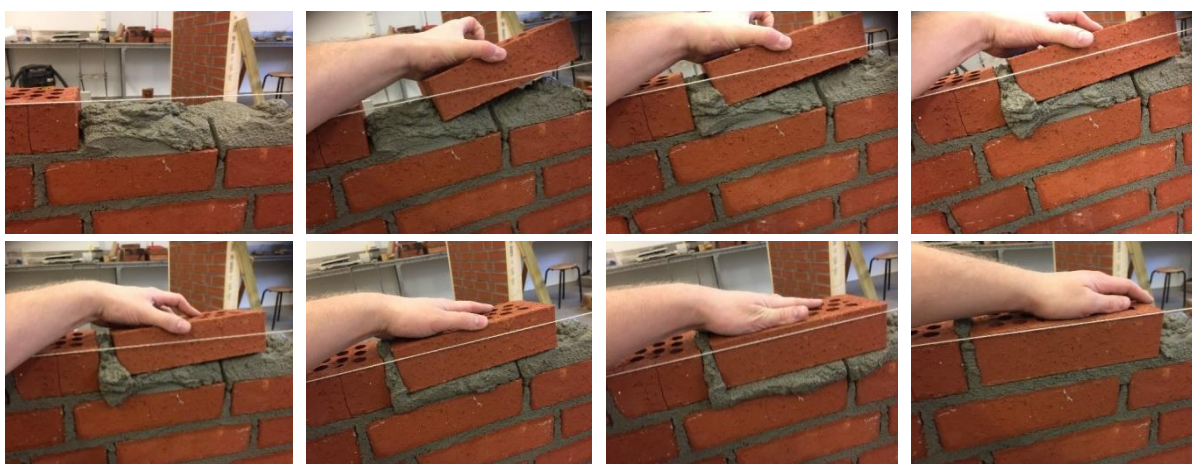
Noralf Bakken, Forskningsingeniør hos SINTEF Byggforsk, tok initiativ til impregnering av veggpanelene. Det er også han som har planlagt og gjennomført impregneringen. Undertegnede har som for slagregnforsøkene målt vanngjennomgang. Figur 8 viser impregnering av veggfelt (A).



Figur 8. Impregnering. **Foto:** SINTEF

2.9 Arbeidsteknikker

Det siste veggfeltet (D) eksponert for regnprøving er murt med en mye brukt teknikk som på fagspråket kalles «å skyve stussen». Fremgangsmåten vises i figur 9. Først legges det ut et godt lag med mørtel, her kan det også være behov for å hjelpe mørtelen ned i fugen på forrige skift. Dette kan ses som et lite snitt i mørtelen ved den ene fugen i bildet øverst til venstre. Så dyttes steinen delvis ned omtrent halvveis ut på mørtelen som er lagt ut. Steinen holdes med enden lavest mot forrige stein for å lettere skyve med seg mørtel til stussfugen. Steinen manøvreres inn fra baksiden av veggen med baksiden ned for å begrense «pølser» eller spill bak veggen, og for å ikke røre snoren. Mens steinen presses inn i fugen og framover vil mørtelen begynne å tyte ut. I bilde nummer to fra venstre på nederste rad kan en se at fugen er «dradd av» én gang. Legg også merke til tommelen som flytter seg fra å ha et klypegrep på steinen til å ligge på steinen når den hviler på mørtelen. Dette for å unngå å røre snoren, på fagspråket «spille på snoren», da dette vil gjøre det vanskelig for andre å mure med samme snor samtidig. På siste bilde henger fingertuppene på kanten av steinen, dette gjør det lettere å utføre den siste lille komprimeringen av fugen.



Figur 9. Mureteknikk å «skyve stuss» benytte for veggfelt D

«Å slå stuss» er faguttrykket for den andre teknikken. Dette gjøres ved å ta litt mørtel på murerkskjeen og legge eller slå denne mørtelen på steinens koppside like før steinen settes på plass. Egen erfaring tilsier at teknikken med å skyve stuss er den mest brukte teknikken, og grunnen til dette er at teknikken er noe raskere. Einstabland og Westbye (1999) beskriver på bakgrunn av samtaler med folk i bransjen at de to teknikkene «å skyve stussen» eller «å slå stuss» er omtrent like vanlig. Teknikken som undervises er «å slå stuss» og det er også denne som anbefales (Madsø, Wold-Hansen og Høiby, 1998), i den grad noe anbefales. I boken *Mur* (Juliebø, 2008) som er pensum for murere anbefales eleven å finne sin egen foretrukne teknikk.

Kapittel 3

Konklusjon

Det er påvist en klar sammenheng mellom vannmengde i mørtel og nøkkelegenskaper for murverk. Mer vann gir bedre heft mellom stein og mørtel, dette resulterer i høyere bøyestrekfasthet, initials kjærfasthet og tetthet for murverket. To internasjonale artikler (Costigan og Pavia, 2014; Baker, 1982) som omhandler temaet støtter konklusjonen da de har lignende funn og konklusjoner. Det at deres funn ligger så nært det som er funnet i denne masteroppgaven på tross av at det er benyttet stein og mørtel med andre egenskaper berettiger generalisering. Det som kan generaliseres er trenden at våtere murmørtel gir bedre heft og tettere murverk, men i hvor stor grad vil variere. Trykkfastheten har neglisjerbare forskjeller for de ulike mørtelblandingene.

En gjennomgang av byggregler fra standardverk, til pensum for murere og anbefalinger fra produsenter viser at det mangler krav og anbefalinger for vannmengde i murmørtel. Noe ydmykhet og forsiktighet er nok på sin plass når en skal komme med anbefalinger til en stor bransje med lange tradisjoner på bakgrunn av en masteroppgave. Det bør framkomme at mer vann i mørtelen gir bedre heft og tettere murverk, gjerne fra produsenter og i pensum for murere.

Karakteristiske verdier i det norske tillegget til Eurokode 6 del 1 for initials kjær- og bøyestrekfasthet (Standard Norge, 2013b) er ikke sikre ut ifra resultatene som er funnet her. For å oppnå forventet konstruksjonssikkerhet bør dette undersøkes nærmere, og passende tiltak iverksettes. Dette kan være å moderere verdiene for initials kjær- og bøyestrekfasthet eller kreve testing med den faktiske steinen, mørtel og rystebordverdien som skal brukes på prosjektet. Spesifikt i tilfeller hvor initials kjær- og bøyestrekfasthet utnyttes i dimensjoneringen.

Forsøkene viser at impregnering hadde liten effekt på vanngjennomgangen i veggfeltene, men utsatte tiden noe før vannet begynte å trenge igjennom. Det er kjent at impregnering begrenser uttørking og øker faren for frostskafer når steinen på tross av impregnering blir våt (Šadauskienė, Ramanauskas og Stankevičius, 2003).

Resultater fra forsøkene indikerer at teknikken med «å slå stuss» er bedre enn «å skyve stuss». På grunn av at blant andre Einstabland og Westbye (1999) har fått andre resultater for lignende forsøk og fordi det kun er testet ett panel med skjøvet stuss gis ingen anbefaling på grunnlag av funnene.

Kapittel 4

Forslag til videre arbeid

- Nye forsøk med både regntetthet og strukturelle parametere. Det finnes mange typer teglstein og murmørtel, her er det kun benyttet en type teglstein og en type murmørtel. Nye forsøk med samme variabel (vannmengde i mørtel), men med nye og gjerne flere typer stein og mørtel kunne styrket validiteten til funnene.
- Arbeidsteknikk ga store utslag, samtidig må resultatene ses mer som en indikasjon på grunn av det begrensede omfanget med kun ett veggfelt. Derfor anbefales videre forskning på effekten av å slå eller skyve stuss.
- Forsøk i slagregnskap med lavere overtrykk ville trolig gitt større forskjeller til fordel for impregnering. Overtrykket i slagregnforsøket er 750 Pascal, tilsvarende orkan vindstyrke. Forsøk med mer realistisk belastning vil være fornuftig for å avdekke hvor godt impregneringen beskytter. Nye forsøk med samme felt med en mindre belastning er under planlegging og blir trolig gjennomført høsten 2017.
- Impregnering er testet på fire ulike felt (en type på hvert felt). Dermed er det ikke mulig å si noe sikkert om hvor god effekt de har i forhold til hverandre. Ved å bruke like veggfelt, gjerne flere for hver type, hadde sammenligningsgrunnlaget for å vurdere impregneringsproduktene opp mot hverandre vært bedre. Bruk av samme middel på ulike felt (som her murt med ulike vannmengde/teknikk) kunne gitt nyttig informasjon om hvor godt impregnering fungerer på vegger med ulik tetthet.
- Testing av frostmotstand for murte prøver med mørtelkonsistens og eller med impregnering som variabel. Det vanlige er å teste kun steinen for frostmotstand, men det er rimelig å anta at en tettere vegg tåler frostpåkjenning bedre.

Bibliografi

- Arksey, H. og O'Malley, L. (2005) Scoping studies: towards a methodological framework, *International journal of social research methodology*, 8(1), s. 19-32. doi: 10.1080/1364557032000119616
- Baker, L. R. (1982) Some Factors Affecting the Bond Strength of Brickwork, Fifth International Brick Masonry Conference (VIBMaC). Washington DC, 5.-10. oktober, 1979. McLean, Virginia: s. 62-72.
- Bjartnes, E. og Brønstad, J. M. (2013) Forankringskapasitet til murte forblendinger utsatt for jordskjelv. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Costigan A. og Pavia, S. (2014) Effect of mortar water content in the properties of masonry, 9th International Masonry Conference. Portugal, 7.-9. juli, 2014. Guimarães Escola de Engenharia, Universidade do Minho: IMS.
- Einstabland, H. og Westbye, A. (1999) Murverk av tegl – Sammenheng mellom utførelse og kvalitet. Hovedoppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Garathun, M. G. (2017) Byggeskader koster samfunnet 17 milliarder i året: - Det blir stadig flere feil. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/byggeskader-koster-samfunnet-17-milliarder-i-aret-eksperter-mener-nye-byggeregler-borlose-problemet/383217> (Hentet: 26. mai 2017).

- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B., og medforfattere Andreassen, L. M., Beldring, S., Bjune, A., Breili, K., Dahl, C. A., Dyrredal, A. V., Isaksen, K., Haakenstad, H., Haugen, J.E., Hygen, H. O., Langehaug, H. R., Lauritzen, S.-E., Lawrence, D., Melvold, K., Mezghani, A., Ravndal, O. R., Risebrobakken, B., Roald, L., Sande, H., Simpson, M. J. R., Skagseth, Ø., Skaugen, T., Skogen, M., Støren, E. N., Tveito, O. E. og Wong, W. K. (2015) Klima i Norge 2100 – Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. (NCCS report no. 2/2015). Tilgjengelig fra: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/6616?_ts=14ff3d4eeb8 (Hentet fra: 7. mai 2017).
- IPCC (2014) Climate Change 2014 (Synthesis report). Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC. Tilgjengelig fra: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (Hentet 7. april 2017).
- Juliebø, E. (2008) Mur. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- Kvande, T. og Lisø, K. R. (2009) Climate adapted of masonry structures, *Building and Environment*, 44(12), s. 2442-2450. doi: 10.1016/j.buildenv.2009.04.007
- Madsø, F. E., Wold-Hansen, G. og Høiby, A. (1998) Murkatalogen – Anvisning P1 Skallmurvegger. Oslo: Mursenteret.
- Norges byggforskningsinstitutt (1983) NBI 29/1983 Mørtler – Tetthet mot slagregn.
- Reinertsen (2013) GRANSKNINGSRAPPORT for Helse, Miljø og Sikkerhet. Tilgjengelig fra: <http://www.reinertsen.no/upload/2013/05/31/granskning-for-hms.pdf> (Hentet: 7. mai 2017).
- Šadauskienė, J., Ramanauskas, J. og Stankevičius, V. (2003) Effect of Hydrophobic Materials on Water Impermeability and Drying of Finish Brick Masonry, *Materials Science*, 9(1), s. 94-98. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/profile/Jolanta_Sadauskiene/publication/237779777_Effect_of_Hydrophobic_Materials_on_Water_Impermeability_and_Drying_of_Finish_Brick_Masonry/links/53fb1c580cf27c365cf06ef8.pdf (Hentet: 19. april 2017).
- Slapø, F. (2016) Variasjon i Mørtelkonsistens for Tegl. Fordypningsprosjekt. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Upublisert.

- SSB (2017) Færre svensker, men flere polakker og litauere. Tilgjengelig fra:
<http://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/artikler-og-publikasjoner/faerre-svensker-men-flere-polakker-og-litauere> (Hentet: 9. mai 2017).
- Standard Norge (1999) NS-EN 1052-1:1999 Prøvningsmetoder for murverk – Del 1: Bestemmelse av trykkfasthet. Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=135940> (Hentet: 17. april 2017).
- Standard Norge (2000) NS-EN 1015-11:1999 Prøvningsmetoder for mørtel til murverk – Del 11: Bestemmelse av bøyestrekfasthet og trykkfasthet til herdnet mørtel. Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=135644> (Hentet: 17. april 2017).
- Standard Norge (2004) NS-EN 1015-3:1999+A1:2004 Prøvningsmetoder for mørtel til murverk – Del 3: Bestemmelse av konsistensen på fersk mørtel (ved rystebord) (innbefattet endringsblad A1:2004). Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=135657> (Hentet: 17. april 2017).
- Standard Norge (2013a) NS-EN 1052-3:2002+A1:2007 Prøvningsmetoder for murverk – Del 3: Bestemmelse av initials kjærfasthet. Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=626305> (Hentet: 17. april 2017).
- Standard Norge (2013b) NS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012+NA:2013 Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler for armerte og uarmerte murkonstruksjoner. Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=646944> (Hentet: 17. april 2017).
- Standard Norge (2016) NS-EN 1052-2:2016 Prøvningsmetoder for murverk – Del 2: Bestemmelse av bøyestrekfasthet. Tilgjengelig fra:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=626305> (Hentet: 17. april 2017).

Structural-Safety (2017) Report of the Independent Inquiry into the Construction of Edinburgh Schools. Tilgjengelig fra:

http://www.edinburgh.gov.uk/download/meetings/id/53239/report_of_the_independent_inquiry_into_the_construction_of_edinburgh_schools (Hentet: 7. mai 2017).

Artikler

1. To whom it may concern – *Mortar water content impact on masonry strength*
2. *Mortar water content impact on masonry strength*
3. To whom it may concern – *Masonry's resistance to driving rain – mortar water content and impregnation*
4. *Masonry's resistance to driving rain – mortar water content and impregnation*
5. Forfatterbidrag – *Mørtelkonsistens – stor betydning, liten oppmerksomhet*
6. *Mørtelkonsistens – stor betydning, liten oppmerksomhet*
7. Forfatterbidrag – *Best med våt murmørtel*
8. *Best med våt murmørtel*
9. Forfatterbidrag – *Bortkastet impregnering mot slagregn*
10. *Bortkastet impregnering mot slagregn*

To whom it may concern

Confirmation on paper contribution

F. Slapø¹, T. Kvande¹, K.V. Høiseth², J-M. Hisdal² and J. Lohne¹

Mortar water content impact on masonry strength

Masonry International, submitted 16. June 2017

¹Department of Civil and Environmental Engineering,
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

²Department of Structural Engineering,
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

www.ntnu.no

ABSTRACT: The authors of this paper share the view that mortar water content are subject to large variations, and that the consequences of these variations are unknown or neglected. A literature review and a test program has therefore been conducted in order to investigate how the mortar water content influence the following important strength properties of masonry: Flexural strength, initial shear strength and compressive strength. Three mortar mixes (dry, medium and wet) were chosen for the test program. The testing is conducted basted on NS-EN 1052 series.

Fredrik Slapø initiated and carried out the main bulk of the research. The research has been conducted according to his initial ideas, concerning the problem to be addressed, the research design and the test program. He has been responsible for the literature review and the carrying out of the laboratory work, and has been the main responsible for drafting the article.

Tore Kvande has served as the main supervisor and contributed to the research design. He has together with *Karl Vincent Høiseth* contributed in the design of the test program, and in the analysis and interpretation of the results. *Jorun-Marie Hisdal* has contributed in the quality assurance of the results and the finalization of the manuscript. *Jardar Lohne* contributed to the research design, and has been responsible for an efficient scientific writing process and the analytic cohesion of the analysis.

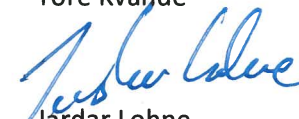
All the co-authors have during the process provided critical comments on the prepared manuscript by Fredrik Slapø and they have all given final approval of the version to be published.


Fredrik Slapø


Tore Kvande


Karl Vincent Høiseth


Jorun-Marie Hisdal


Jardar Lohne

Mortar water content impact on masonry strength

F. SLAPØ⁽¹⁾, T. KVANDE⁽²⁾, K. V. HØISETH⁽³⁾, J.-M. HISDAL⁽⁴⁾, and J. LOHNE⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Master-mason, structural engineer and MSC student at Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway

⁽²⁾ Professor, dr. ing. at Department of Civil and Environmental Engineering, NTNU, Trondheim, Norway

⁽³⁾ Professor, dr. ing., Head of Department of Structural Engineering, NTNU, Trondheim, Norway

⁽⁴⁾ Ph.D candidate at Department of Structural Engineering, NTNU, Trondheim, Norway

⁽⁵⁾ Research Scientist dr. art. at Department of Civil and Environmental Engineering, NTNU, Trondheim, Norway

ABSTRACT

Building without sufficient knowledge can entail risk concerning structural safety and resource efficiency. The authors of this paper share the view that mortar water content are subject to large variations, and that the consequences of these variations are unknown or neglected. A literature review and a test program has therefore been conducted in order to investigate how the mortar water content influence the following important strength properties of masonry: Flexural strength, initial shear strength and compressive strength. Prior to the test program, the first-author visited six different buildings sites in order to document on-site mortar consistency. Based on this, three mortar mixes (dry, medium and wet) were chosen for the test program. The testing is conducted based on NS-EN 1052 series [1-3], and comparison is made to values given in Norwegian Annex of Eurocode 6 [4].

It is found that there is a lack of knowledge on this issue in literature, and further that the guidelines for masons regarding mortar water content is insufficient. The test program showed that the structural properties vary considerably based on the water content of the mortar. Flexural and initial shear strength increases strongly by increasing the water content, seven-fold for shear. The compressive strength of masonry specimens show on the other hand consistent strength that seems independent of reduced mortar strength by increased water content.

The recommendation of using wet mortar ought to be included in the curriculum of masons. Since the scale of the presented research is rather limited, further testing ought to be carried out.

KEYWORDS: Brick, mortar flow, masonry strength, shear, flexural, compressive.

1. INTRODUCTION

Masonry quality depends in essence of three factors – mortar, bricks and the workmanship involved in the construction [5]. Further the masonry quality is complicated by the interaction between the mortar and the bricks [6]. In this paper, we address one of these factors – masonry mortar, hereafter mortar – and investigate the influence of one of the sub-qualities of mortar quality – water content and its influence on masonry strength. More specific, we examine the effect on hydrated masonry specimens due to change in water content in fresh mortar.

Mortar strength depends in turn on several factors. Of these, the most important are the binder, water binder ratio, composition of sand and additives. Further, the strength of the mortar depends on the nature of the clay bricks used, since the suction of the bricks affects the water content of the mortar during curing.

Mortar strength forms the basis for masonry quality. With weak mortar, the quality of the whole masonry ensemble is left uncertain, if not to say dangerous. Based on the experience of the authors, the implications of practical

masonry work on worksites are little understood, constituting potential hazardous conditions. In addition, both pecuniary and environmental concerns concerning the mortar qualities are significant [7,8].

In Europe, Eurocode 6 [4, 9] gives guidelines for designing masonry structures, and tabulated values for masonry strength on basis of mortar and brick strength is given in the national annex. What the standard does not include to a significant extent, however, is the influence of actual workplace conditions concerning the water content of the mortar on the physical strength of the solutions chosen. Some research has been carried out concerning factors affecting the flexural strength on brick masonry [10]. Little seems to have been done, however, within the field of examining the influence of mortar water content for masonry strength, since Baker published an article in 1982 [11]. A notable exception to this is reported in Costigan and Pavia [12]. We in this paper analyse the influence of the work-site added level of water in factory-made designed (dry) mortar, according to the specifications of NS-EN 998-2 [13].

The hypotheses that initiated the research behind this article was the following: Use of fresh stiff mortar (mortar with low water content) by masons leads to weak masonry strength. In other words, we analyse the effect of the water content of mortar on masonry strength, according to flow properties. In order to operationalize this general idea, the following research questions were outlined:

- What is the effect of mortar water content on flexural strength?
- What is the effect of mortar water content on initial shear strength?
- What is the effect of mortar water content on compressive strength?

The analysis presented in this paper is based on an analysis of designed mortar, specifically Weber masonry mortar M5 in combination with Wienerberger Haga Red perforated clay bricks.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 Literature review

Goodwin [14] carried out a comprehensive literature review concerning the literature on brick/mortar bond in 1982. A few outtakes from Goodwin's summary: "There is abundant evidence in the literature to conclude that the rate of absorption of the masonry units is the most important single factor affecting the bond. ... The most desirable value of initial rate of absorption (IRA) to achieve maximum strength would appear to be in the range 0.8 – 1.2 kg/m²/min, but an optimum value less than this is required to provide walls resistant to water penetration." (p. 33) "The water retentivity of the mortar, which is a measure of the ability of the mortar to resist the suction of the bricks, is considered by many investigators to be the most important property of the mortar affecting the bond. A considerable amount of work has been carried out in an effort to increase the water retentivity of mortars. There is, however, evidence that consistency, or the quantity of water

in the mortar, is as important as water retentivity in obtaining good bond strength. This is considered to be the case particularly with highly absorbent masonry units.” (p. 34)

Following the work carried out there, and according to the literature review carried out within the context of the research presented in this paper, the main trend in research on the effect of masonry/brick interaction on masonry strength is typically focusing on the following four aspects:

2.1.1 Properties of the mortar

Modified composite mortars have been developed by the replacement of certain part of lime with pozzolana, such as burnt clay or fly-ash. This was found to be of advantage [15]. Gazzola [16] showed significant decrease in tensile bond for mortars made with Portland cement and masonry cement instead of Portland cement and lime.

2.1.2 Properties of the brick

McGinley [17] showed that the IRA of brick units can have a greater influence on the flexural bond strength of the masonry assembly than is generally accepted by the masonry industry. Groot and Larbi [6] found that not only the water flow from mortar to brick (which takes place immediately after mortar-brick contact) but also a reversed water flow from brick to mortar (occurring after compaction and initial hydration of mortar) may significantly influence the bond strength development. Fried and Li [18] showed that the tensile bond strength generally increased as the maximum water absorption capacity of the units decreased. The maximum bond strength occurred at an "optimum" water absorption intermediate between the dry and fully saturated state. Yorkdale [19], however, found the effect of IRA not to be significant enough to taking it into the standards. He recommends, however, further research, as the relation between clay masonry units and mortar is not well understood.

2.1.3 Workmanship

Francis et al. [20] showed experimentally and theoretically that the strength of four-brick prisms declines as the joint thickness increases and as the lateral tensile strength of the bricks diminishes in relation to their compressive strength. Results from Tabbakhha and Modaressi-Farahmand-Razavi [21] indicate that mortar cohesion has a considerable effect on wall strength under in-plane loads. However, under combined loads, the influence of workmanship quality on wall strength decreases for the in-plane direction and increases for out-of-plane direction.

2.1.4 Water content

Internationally, relatively few articles addressing the specific question of water content in mortar on masonry strength have been identified. One notable exception from this is Baker [11], who analyses bond strength of brickwork and the effect of mortar flow. Baker's first conclusion was that "[t]he flow of mortar is a sensitive and important parameter influencing the flexural-bond strength of brickwork. Maximum strength is obtained with mortars of wettest workable consistency" (p. 86). Baker use terms like "the wettest workable mix" and "the driest workable mix on the flow of the employed mortar, however, he does not specify flow values. In addition, the material properties of the brick examined by Baker indicate that the IRA is high (3.2 kg/m²/min.). In light of this, the results presented by Baker are not very surprising, since prewetting of bricks is a well-known method of improving bond for high suction bricks. A more recent study of Costigan and Pavia [12] show many similarities to the paper of Baker [11]. Costigan and Pavia used, bricks with an IRA of 1.0 kg/m²/min which is equal to the bricks used in this study (IRA 1.0/m²/min), IRA of 1.0 is low to moderate [22].

The findings and conclusions none the less coincide with those of Baker [11]. Costigan and Pavia focused on mortars with a small flow value difference (165 mm versus 170 mm flow). The analysis presented, however, lack any clear judgement of what the actual flow variation can be in workplace conditions. In addition, their analysis focus on lime-based mortar, and not on cement-based mortar (being most commonly used within the Norwegian AEC-industry).

2.2 Vocabulary

Though little actual research seems to have been carried out on mortar water content impact on masonry strength, the standards and the literature describes certain properties of mortar, and properties influencing the interrelation between mortar and bricks.

- Flow value – A measure of workability by slump or spread for flow table test of NS-EN 1015-3 [23].
- Initial rate of absorption (IRA) (kg/m²/min) – The mass of water absorbed by the brick's bed-side in one minute in 5 mm of water (note that this value is given with various units and for 3 mm [6,24] or 5 mm of water [25].
- Water absorption (WA) – The total mass of water absorbed by fully saturated brick as percentage of the bricks dry weight [26].
- Cohesion of mortar – The ability of fresh mortar to stick together/to itself and to the trowel or vertical surfaces. Lack of cohesion could lead to segregation/separation/bleeding (losing water) [27].
- Workability – Property of fresh mortar with main factors consistence and plasticity [28].
- Consistence – That property of a mortar by virtue of which it tends to resist deformation (capable of being changed by the addition or removal of water) [28].
- Plasticity – That property of a mortar by virtue of which it tends to retain its deformation after the reduction of deforming stress to its yield point [28].
- Water retentivity – Ability of mortar to retain its moisture under suction from a masonry unit [29].

On a workmanship level, however, an additional level of definitions is employed, which all express qualities of mortar influencing its performance. The following definitions are based on the experience of the authors:

- Short mortar – Poor consistency, unable to form a long even mortar bed, typically thin (lacking in cohesivity (lacking in binder/lime, air and or filler))
- Creamy mortar – Mortar with a good workability/high flow without losing the ability to maintain its shape after placing. Like whipped cream, it is easy to spread without need of force, still not fluid so it could maintain a slender shape (like a spike) or carry a brick.
- Wet mortar – Referring to mixed fresh mortar with a high-water content looking and feeling wet to the touch, typically having a high flow value.
- Dry mortar – Referring to mixed fresh mortar with a low water content looking and feeling dry to the touch, typically being stiff.
- Stiff mortar – Mortar that in the following is denominated as stiff is characterized by a relatively low workability, requiring more force in handling and placing.

2.3 Guidelines for mortar consistency

2.3.1 The codes

Eurocode 6 [4,9] describes to a large extent the physical properties of brick and mortar, providing detailed technical calculation models for assessing the strength of the brick masonry. The interaction between mortar and bricks is not, however, described thoroughly, other than in a general recommendation to follow the design specifications of the

suppliers. Part 1-1 (3.2.3.2) [4] simply states that the “adhesion between the mortar and the masonry units shall be adequate for the intended use”. Part 2 [9] proves somewhat more elaborated, yet still leaving much to the judgement of the reader: “Satisfactory adhesion should be achieved by proper preparation of the masonry units and mortar. The necessity for wetting masonry units before use should be obtained from the design specification. Where there are no requirements in the design specification, the recommendations from the manufacturer of the units and, where appropriate, from the manufacturer of factory made mortar, should be followed.” [9] 3.5.1 (1). However, the Danish code Tegl 24 [30] have requirements for minimal mortar flow.

In sum, the standard thus leaves the concrete considerations concerning the interaction between the mortar and the bricks to the design specifications of the producers.

2.3.2 Wienerberger bricks

According to their web page, Wienerberger is the world's largest producer of bricks. In their technical brochure [31] (translated from Norwegian by the authors of this paper) page 4, they outline the following instructions concerning the interaction between the bricks and the mortar: “The mortar shall have a composition adapted to the initial rate of absorption of the bricks in order to obtain the intended interaction between the mortar and the bricks. Pre-batched dry mortars shall be in accordance with NS-EN 998-2:2016. The properties of the mortar, and the bond between the mortar and the bricks shall be documented by the manufacturer of the mortar.”

For on-site constructed lintels with adapted mortar, Wienerberger recommends pre-wetting of the bricks units according to prescribed specifications or priming in combination with water. Further, the bond between the bricks and the mortar ought to be controlled according to NS-EN 1052-3 before start-up.

In sum, however, the responsibility for defining the brick/mortar interaction properties is left mainly to the manufacturer of the mortar. The exception to this concerns the specifications of lintels.

2.3.3 Weber mortar

The main supplier of mortar in Norway is Weber. Their most commonly used mortar is M5, used in a majority of masonry construction in Norway. In addition, Weber supplies designed mortar according to distinct brick properties, be they highly or little absorbent.

In their product data sheet [32] (in Norwegian), Weber in general recommends using stiff mortar in order to reduce spilling during the construction of masonry structures. Equally, the use of stiff mortar is recommended for easing the cleaning of the façade. There are no considerations of what stiff mortar actually implies for the masonry quality, like strength properties.

The vocabulary used, however, proves surprisingly vague. Concerning the use of the mortar M5 used during the research presented in this paper, the term used for describing the consistency of the mortar is “correct” (“riktig”). The interpretation of the term “correct” consistency is in fact left undescribed. In addition, no descriptions of the impact on the structural properties (shear strength, compressive strength, flexural strength) of “correct” consistency are provided.

The question of what “correct” actually means in work-place conditions is thus left to subjective interpretation of the personnel conducting the construction of the masonry work – that is, the mason him/her self.

2.3.4 Curriculum for masons

If the responsibility for obtaining the “correct” consistency of the mortar is left to the mason in place, the foundations for this judgement needs being addressed. The curriculum of the masons’ education therefore needs scrutiny.

The textbook used nation-wide in Norway is *Mur* [“Masonry”] [33]. In this (chapter 2), the interaction between mortar and bricks is described in the following manner (translation by the authors of this paper): “It is [...] the adhesive properties of the interface between the mortar and the bricks that determine the shear strength, driving rain resistance and the risk of cracks and micro-cracks. The interaction between the mortar and the bricks is determined mostly by the IRA of the bricks and the resistance to water loss of the fresh mortar. A favorable relationship between these two properties is a condition for good adhesion”.

The lack in semantic precision observed in the producer technical specifications can again be observed in the context of the textbook description. To describe that the relationship ought to be “favorable” so that “good adhesion” is obtained is of little help to the practitioner seeking to know how to carry out the masonry work in an adequate manner.

2.3.5 Conclusion to guidelines

In the authors’ opinion, little actual advice is provided for practitioners in Norway concerning the consistency of the mortar with regards to assuring the interaction between bricks and mortar.

The workplace experience of the main author of this paper indicates that this corresponds both to observed prior practice and focused observation. Prior to the research reported on in this paper, seven work-place visits were conducted. At these, it was observed that – rather than following any predetermined prescriptions – the mortar was mixed according to the preferences of the individual team of masons. Mortar was mixed wet in order to obtain speed, or dry to enable less spill and an increased accuracy.

The research presented in this paper thus differs from existing research by focusing on workplace conditions and actual mason’s understanding of mortar, bricks and their interrelation.

As observed in the literature, there seems to be little knowledge concerning the effect of mortar water content on initial shear strength, flexural strength and compressive strength.

3. METHODOLOGICAL APPROACH

3.1 Literature review

The research presented in this paper was initiated by a scoping literature review, carried out along the guidelines presented by Arksey and O’Malley [34]. The literature review focussed on 1) identifying the main trends existing within the literature, and 2) on establishing the knowledge gaps existing. Based on this, a further close reading of literature found to be of particular interest to the research presented here was conducted. Key words used in the search for literature included brick, mortar flow, masonry strength, and shear-, flexural- and compressive strength. Search engines used included Google Scholar and Oria (Norwegian Library database). In addition, a comprehensive scrutiny of the scientific journals and conference proceedings considered most pertinent to the analysis – in particular Masonry International and the International brick and masonry conference – was carried out. The literature review was carried out during the period August 2016-April 2017.

3.2 Test program

The test program was designed to isolate the effect of water content in the mortar and be relevant to bricklaying in Norway today. The mortar Weber M5 was selected on basis of it being the most commonly used mortar in Norway. Haga Red perforated bricks from Wienerberger were chosen because of its properties in terms of color, WA, IRA and that it is perforated, characteristics that are typical for bricks used in Norway. See Table 1 for brick and mortar data.

The spectrum of the mortar mixes' workability in the test program corresponds closely both to the spectrum observed during building site tests performed autumn 2016, and with the recommended spectrum for water content from producer Weber [32]. The wet mix is close to the wettest workable consistency and the dry is close to the stiffest workable consistency, based on the experience of the authors. The mixing procedure and time was carried out according to Weber's recommendations. After mixing each batch, the flow table values were determined according to NS-EN 1015-3 [23]. See Table 2 for test specimen characteristics.

Tests are based on the European norms, specifically the NS-EN 1015 [1-3] series. Previously mentioned building site visits and all mixing, bricklaying, conditioning and testing was performed by the first author of this article.

Bond and strength of masonry depend on good curing conditions. NS-EN 1052 [1-3] specify that the specimens should be covered for three days in order to avoid rapidly drying out. The laboratory is characterized by higher temperatures and lower relative humidity for the main part of the year than outdoor conditions, thus forming a harsher curing environment for masonry specimens. Even so, the sun and wind of the outdoors environment can dry out masonry faster than the laboratory air. In order to render the test conditions closer to outdoor conditions (in accordance with observed work-place conditions in summer) than what is described in the standard, it was decided not to cover any of the specimens during curing. Such non-covering of the specimens is considered by the authors to result in conservative testing results.

3.2.1 Specimens for four-point flexural bending test

NS-EN 1052-2 [2] specify spacing of inner bearings to be 0.4 – 0.6 of the outer bearings spacing. Initially, a ratio of 0.5 was selected. This resulted in breakage outside the inner bearings. Therefore, the rig was rebuilt to a ratio of 0.4 in order to maximize the moment between the inner bearing. After this adjustment, all breakage occurred in-between the inner bearings as required [2].

3.2.2 Specimens for initial shear strength

The specimens were not preloaded after production (that is, contrary to the procedure [3]). The specimens were jointed (front and one end) and brushed to a typical concave finish.

3.2.3 Specimens for compression

The compression specimens were three courses high (212 mm), less than the five courses demanded by NS-EN 1052-1 [1]. The main reason for this deviance was limitations in material availability and time restrictions. The testing was, however, considered to be adequate, since its main purpose was comparing the relative compressive strength of the three sample series.

Specimens were made on a plane surface. Prior to testing, both sides received a quick hand grinding to remove any protruding parts before being placed between 12 mm wood fiber plates. $\frac{1}{2}$ -stones were cut on a diamond saw, washed and dried before construction.

4. RESULTS

Table 3 and Figure 1 provides an overview of the results. They show a clear impact of water content on the flexural and initial shear strength. Shear strength is clearly the most affected structural parameter, with characteristic values ranging from 0,04 to 0,28 N/mm² for the three mortar mixes, that is a factor of seven. The specimens made by the wet mortar resulted in the strongest masonry. Also, the flexural strength is clearly influenced by water content. The wet mortar gave specimens 1.6 times stronger than specimens built with dry mortar.

The measured average compressive strength on mortar prisms, tested according to NS-EN 1015-11 [35] (without absorbent filter paper), decreases when the flow value increases. The compressive strength of masonry specimens is, however, negligible with respect to the flow values. The variation within each of the compressive strength series was low, with a relative standard deviation ranging from 2.3 % to 4 %. Results from the flexural, initial shear and compression tests on masonry specimens were calculated by means of characteristic values according to NS-EN 1052 [2, 3] and Eurocode 0 [36]. This procedure was followed to compare them with the tabulated characteristic strength values in the Norwegian annex of Eurocode 6 [4].

Since the tested specimens were two courses lower than required by NS-EN 1052-1, the characteristic compressive strengths were multiplied by a shape factor of 0.84. Researcher's [37,38] claim that the shape factor in NS-EN 772-1 [39] is uncertain and that the slenderness is the key factor. The shape factor of 0.84 was obtained from converting table 1A in [39] to slenderness. Even after this correction, the compressive strengths measured are considerably higher than the tabulated values in the Norwegian annex of Eurocode 6 [4].

5. DISCUSSION

5.1 Effect of water content on flexural and initial shear strength

The results concerning shear strength, flexural strength and the relation of these two to water content are in agreement with Baker [11]. Equally, they add to the validity of Costigan and Pavia's [12] conclusions, both by type of mortar and flow range of the fresh mortar.

Further, the results confirm the general challenge in achieving designed flexural strength [5], none of the masonry specimens achieved the flexural strength values tabulated in the Norwegian annex of Eurocode 6 [4]. The specimens built with wet mortar was, however, closest.

Only the specimens built with wet mortar achieved the tabulated initial shear strength from Eurocode 6 [4]. The declared initial shear strength from Weber of 0.15 N/mm² [40] is achieved by specimens built from both medium and high flow mortar.

The characteristic values achieved are in general on the safe side. Since there are relatively few (5-7) specimens in each series, characteristic values may be small. In other words, the characteristic strength is likely to be higher than reported here, and this could have been documented by testing more specimens. The relationship between the different series is more accurate than the characteristic values, since they would not be as affected by the number of specimens.

5.2 Effect of water content on compressive strength

The water content has a negligible influence on the compressive strength of the masonry specimens, while the mortar prisms loose almost 40% of their compressive strength from the same variation in water content. This could be explained by the fact that there are two contradicting effects here. First stronger mortar provides stronger masonry, and second, higher bond strength provides stronger masonry. Sarangapani et al. [41] concluded that “[a] four-fold increase in flexural bond strength resulted in a doubling of the masonry compressive strength” (p. 237). In accordance with this, the low water content results in strong mortar, while leading to weak bonding. Correspondingly, a high water content gives weaker mortar but stronger bond. The effects consequently cancel each other out, and compressive strength is left seemingly unaffected by the large variations in flow and water content.

The first crack on the masonry specimens was logged. They seem to appear randomly between 40% and 90% of failure load, thus not providing any valuable information. The specimens appeared to resist the loads almost unaffected until approximately 95% of ultimate loading. At this point the specimens showed clear signs of being close to failure.

6. CONCLUSION

Results reported on in this paper has identified a lack of knowledge concerning water content on masonry mortar in Norway. Equally the guidelines for masons on mortar water content are found to be insufficient.

Structural properties are found to vary considerably according to the water content of the mortar within the typical building site variation. Bond strength (as the combination of flexural and initial shear strength) increase strongly by increasing the water content, seven-fold for shear, whilst mainly still not achieving the values prescribed by Eurocode 6 [4]. This can, in effect, create potential hazardous conditions.

The compressive strength of masonry specimens show, however, consistent strength seemingly independent of reduced mortar strength by increased water content, and well within the prescriptions of Eurocode 6 [4].

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to present our gratitude to Klima 2050 Centre for Research-based Innovation, its partners and the Research Council of Norway as the founding participant of the research presented in this paper. Likewise, support by Saint-Gobain Weber has been very welcoming.

REFERENCES

1. Standard Norge (1999) *NS-EN 1052-1:1999 Method of test for masonry. Part 1: Determination of compressive strength*.
2. Standard Norge (2016) *NS-EN 1052-2:2016 Method of test for masonry. Part 2: Determination of flexural strength*.
3. Standard Norge (2007) *NS-EN 1052-3:2002+A1:2007 Method of test for masonry. Part 3: Determination of initial shear strength*.
4. Standard Norge (2013) *NS-EN 1996-1-1:2005+A12012+NA:2013 Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*.
5. Curtin, W., Shaw G., Beck, J., Bray, W. and Easterbrook, D., ed. (2008) *Structural Masonry Designers' Manual*. 3rd ed. [ebook] Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ntnu/detail.action?docID=351469> (accessed: 6 April 2017)
6. Groot, C. J. W. P. and Larbi, J. (1999) The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry, *Heron*, 44(2), pp. 63-78. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.7216&rep=rep1&type=pdf> (accessed: 6 April 2017).
7. Rodriguez, Á., Mansob, M., Aragónb, Á. and Gonzalezc, J. (2009) Strength and workability of masonry mortars manufactured with ladle furnace slag, *Resources, conservation and recycling*, 52(11), pp. 645-651. doi: 10.1016/j.resconrec.2009.04.015
8. Fridrichová, M., Gemrich, J., Stachová, J. and Magrla, R. (2014) Reduction of CO2 emissions at firing of binders type Portland cement, *Advanced Materials Research*, 897, pp. 25-29. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.25
9. Standard Norge (2010) *NS-EN 1996-2:2006+NA:2010 Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry*.
10. Edgell, G.J. (1987) Factors Affecting the Flexural Strength of Brick Masonry, *International Masonry Society*, 1(1), pp. 16-24. Available at: <https://www.masonry.org.uk/downloads/factors-affecting-the-flexural-strength-of-brick-masonry/> (accessed: 12 May 2017).
11. Baker, L. (1982) Some Factors Affecting the Bond Strength of Brickwork, *Fifth International Brick Masonry Conference*. Washington DC: VIBMaC, pp. 62-72.
12. Costigan, A. and Pavia, S. (2014) Effect of mortar water content in the properties of masonry, *9th International Masonry Conference*. Guimarães Escola de Engenharia. Universidade do Minho: IMS.
13. Standard Norge (2016) *NS-EN 998-2:2016 Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar*.
14. Goodwin, F. and West, H. (1982) A Review of the Literature on Brick/Mortar Bond, *Proceedings of the British masonry society*. Load Bearing Brickwork (7). Stoke-on-trent: British Ceramic Society, pp. 23-37.
15. Malhotra, S. K. and Dave, N. G. (1999) Investigations into the effect of addition of flyash and burnt clay pozzolana on certain engineering properties of cement composites, *Cement and Concrete Composites*, 21(4), pp. 285-291. doi: 10.1016/S0958-9465(99)00006-2
16. Gazzola, E., Bagnariol, D., Toneff, J. and Drysdale, R. (1985) Influence of Mortar Materials on the Flexural Tensile Bond Strength of Block and Brick Masonry, *Masonry: Research, Application and Problems, ASTM International*, pp. 15-26, doi: 10.1520/STP34544S
17. McGinley, W. M. (1990) IRA and the flexural bond strength of clay brick masonry, *Masonry: Components to Assemblages, ASTM International*, pp. 217-229. doi: 10.1520/STP24988S
18. Fried, N. and Li, S. (1994) The influence of unit moisture content on masonry flexural strength, *Prox of 10th International Brick/block Masonry conference*. Calgary, July 5-7, 1994. Calgary: Masonry Conference, pp. 935 – 945.
19. Yorkdale, A. (1982) Initial Rate of Absorption and Mortar Bond, *Masonry: Materials, Properties, and Performance, ASTM International*, pp. 91-98. doi: 10.1520/STP30117S
20. Francis, A., Horman, C. and Jerrems, E. (1971) The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork, *Proceedings of the second international brick masonry conference*. Stoke-

- on-trent: British Ceramic Research Association, pp. 31-37.
21. Tabbakhha, M. and Modaressi-Farahmand-Razavi, A. (2016) Analyzing the effect of workmanship quality on performance of unreinforced masonry walls through numerical methods, *Computers & Structures*, 167, pp. 1-14. doi: 10.1016/j.compstruc.2016.01.013
 22. Hisdal, J. and Kvande, T. (2011) *Murverk. Materialer, typer og egenskaper [Masonry. Materials, Types and Properties]*. Byggforskserien 571.201, SINTEF Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/574/murverk_materialer_typer_og_egenskaper#i236 (accessed: 6 April 2017).
 23. Standard Norge (2004) *NS-EN 1015-3:1999+A1:2004 Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*.
 24. American Association State Highway Transportation (2017) *ASTM C67 – 16 Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*.
 25. Standard Norge (2011) *NS-EN 772-11 Methods of test for masonry units. Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units*.
 26. Standard Norge (2011) *NS-EN 772-21:2011 Method of test for masonry units. Part 21: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water absorption*.
 27. Bowler, K., Jackson, J. and Monk, G. (1996) The measurement of mortar workability, *International Masonry Society*, 10, pp. 17-23. Available at: <https://www.masonry.org.uk/downloads/the-measurement-of-mortar-workability/> (accessed: 12 May 2017).
 28. Reunion internationales des laboratoires défais et de recherches sur les matériaux et les constructions (1982) *Testing methods for mortars and renderings RILEM recommendations MR 1-21*.
 29. International Standard (2000) *ISO 9652-5:2000(E) Masonry -- Part 5: Vocabulary*.
 30. Danish Technological Institute - Building and Construction (1996) *TEGL 24 Nye styrker for murværk, Murværkscenteret (New strengths for masonry)*.
 31. Wienerberger AS (2010) *Technical brochure for brick masonry*. Available at: <http://wienerberger.no/downloads/20151216124953/teknisk-brosjyre-for-teglmurverk.pdf> (accessed: 29 May 2017).
 32. Weber Saint Gobain (2016) *Masonry mortar M5 – Product data sheet*. Available at: https://www.weber-norge.no/uploads/tx_weberproductpage/printable_sheet_Weber_Murm_rtel_M5.pdf (accessed: 15 May 2017).
 33. Juliebø, E. (2008) *Mur [Masonry]*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
 34. Arksey, H. and O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework, *International journal of social research methodology*, 8(1), pp. 19-32. doi: 10.1080/1364557032000119616
 35. Standard Norge (2000) *NS-EN 1015-11 Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*.
 36. Standard Norge (2016) *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurocode: Basis of structural design*.
 37. Beer, I. and Schubert, P. (2004) Determination of shape factors for masonry units, *13th International Brick and Block Masonry Conference*. Amsterdam, July 4-7, 2004. Amsterdam: IB2MaC.
 38. Gregoire, Y. (2007) Compressive Strength of Masonry According to Eurocode 6: A Contribution to the Study of the Influence of Shape Factors, *Masonry International*, 20(2), pp. 69-75. Available at: http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=research&doc=masonry-compressive_strength_masonry.pdf&lang=en (accessed: 31 May 2017).
 39. Standard Norge (2015) *NS-EN 772-1:2011+A1:2015 Methods of test for masonry units. Part 1: Determination of compressive strength*.
 40. Weber Saint Gobain (2016) Declaration of Performance, Nr. DoP-NO-M418972222, Version 2. Available at: https://www.weber-norge.no/uploads/tx_weberproductpage/dop-1_Weber_Murm_rtel_M5.pdf (accessed: 31 May 2017).
 41. Sarangapani, G., Reddy, B. and Jagadish, K. (2005) Brick-mortar bond and masonry compressive strength, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(2), pp. 229-237. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(229)
 42. Wienerberger AB (2016) *Declaration of Performance, DoP-number: 21115190-A1W2111*.
 43. Saint-Gobain Byggevarer as (2014) *NEPD00130E Rev1, weber Murmørtel M5, dry mortar*. Available at: https://www.weber-norge.no/fileadmin/user_upload/EPD/NEPD00130E_Rev1_weber_murmoertel_M5_GODKJENT.pdf (accessed: 31 May 2017).

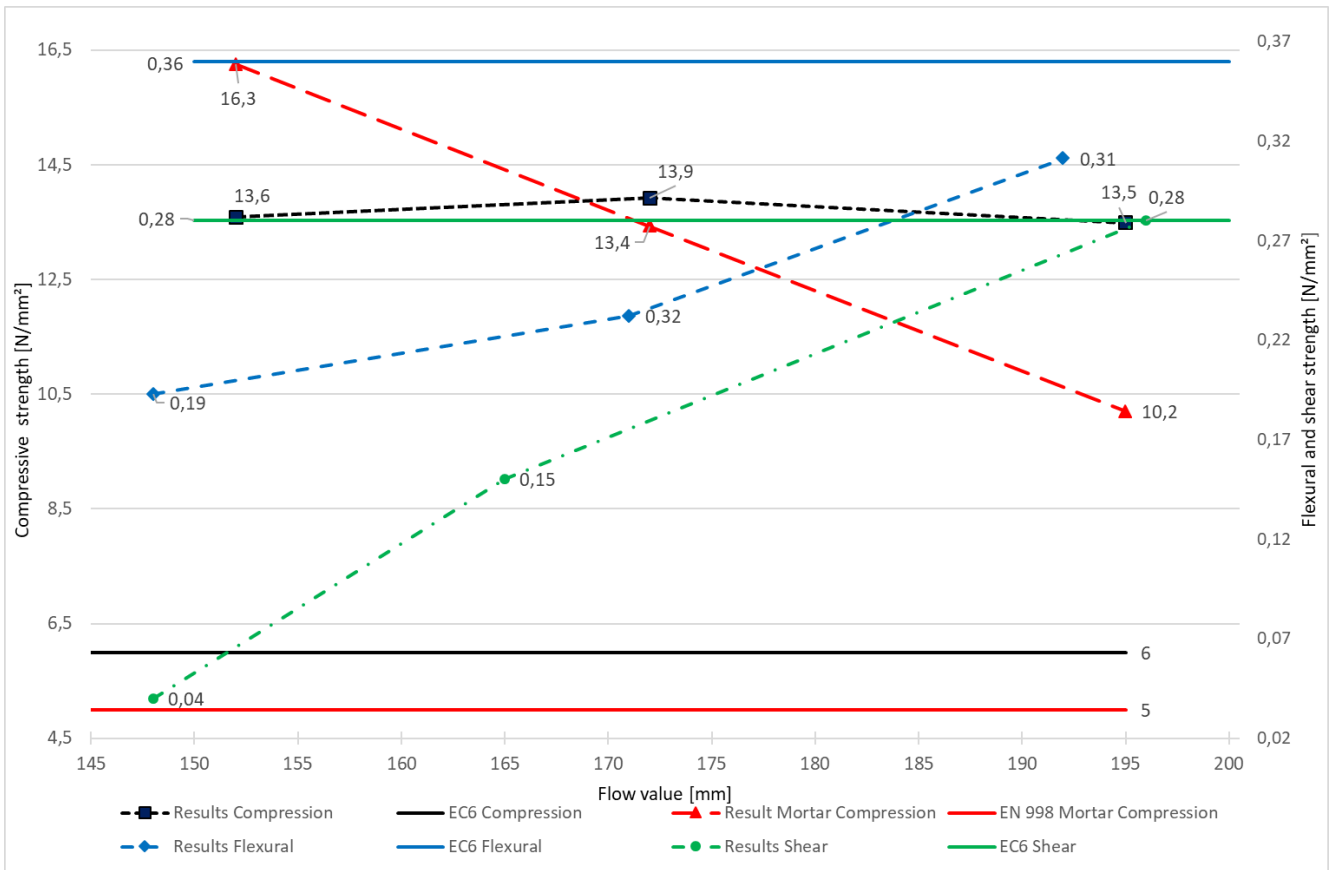


Figure 1 Strength dependent of flow value

Table 1
Properties of brick and mortar

Brick Wienerberger Haga Red		Mortar Weber M5			
Category	1	Declared value	Water added mortar [kg/25 kg]	Flow average	Compressive and flexural strength
Dimension	LWH 228x108x62 mm ³ T1, R1*	Declared value	Masonry 3.6 – 4.0 (4.2 for rendering)	Declared**	Compressive >5 N/mm ² Flexural >2.2 N/mm ²
Compressive strength	Declared: 35 N/mm ² *	Dry	3.60 – 3.75	149 mm	Comp. 16.3 N/mm ² Flex. 3.15 N/mm ²
Water absorption	Declared: 8%*	Medium	3.90 – 4.00	169 mm	Comp. 13.4 N/mm ² Flex. 3.02 N/mm ²
Initial rate of absorption	Declared: 0–1.6 [kg/m ² /min]* Measured: 1.2 [kg/m ² /min]	Wet	4.15 – 4.30	193 mm	Comp. 10.2 N/mm ² Flex. 2.19 N/mm ²
Holes	22%*	Proportions	Portland Cement 11.7%, Lime 1-5%, Filler 11.4%, Chemicals 0.5% Natural sand 0-2 mm 60-100%***		

*Product Data Sheet Wienerberger Haga Red [42]

** Weber M5 DoP [40]

*** Weber M5 EPD [43], Weber M5 DoP [40]

Table 2
Overview of test specimens

Specimens	Height x Length [mm ²]	Flow values: Dry, Medium, Wet* [mm]	Number of specimen [pcs]	Curing conditions and age of specimens when tested
Flexural NS-EN 1052-2	362 x 469	148, 171, 189	15	19.8 °C (σ=0.5), 21,5 %RH (σ=7.3), 28 days
Shear NS-EN 1052-3	212 x 228	148, 165, 196	21	Approx. 22 °C, 30% RH 27 days (6pcs) and 28 days (9pcs)
Compression NS-EN 1052-1	212 x 469	152, 172, 195	15	19.7 °C (σ=0.4), 22.4 %RH (σ=6.8), 28 days
Flexural and compression NS-EN 1015-11	40x40x160	148, 171, 189	9 Flexural 18 Compression	19.8 °C (σ=0.5), 90-100% RH, 28 days

*Flow table values after mixing, prior to building. If more than one batch (approximately 14 l) was made to complete the series, weighted mean value for the batches is given.

Table 3
Results of tests

Mix	Flexural strength NS-EN 1052-2		Initial shear strength NS-EN 1052-3		Compressive strength NS-EN 1052-1	
	Range [N/mm ²]	f_{xk1} * [N/mm ²]	Range [N/mm ²]	f_{vk0} ** [N/mm ²]	Range [N/mm ²]	f_{ky} *** [N/mm ²]
Dry	0.24 – 0.35	0.19	0.08 - 0.34	0.04	17.2 – 19.2	13.6
Med.	0.25 – 0.46	0.23	0.16 - 0.35	0.15	16.9 – 18.1	13.9
Wet	0.33 – 0.57	0.31	0.36 - 0.58	0.28	16.6 – 17.6	13.5
Characteristic ****		0.36		0.28		6.0
Design*****		0.19		0.15		3.2

* Characteristic strength calculated from NS-EN 1052-2 [2]

** Characteristic strength calculated from NS-EN 1052-3 [3]

*** Characteristic strength calculated from NS-EN 1990 [36], corrected with shape factor 0.84 based on NS-EN 772-1 [39] Table A.1.

**** Tabulated values from NS-EN 1996-1-1 [4] Norwegian annex Table NA.904

***** Design strength (incl. material safety factor $\gamma_m = 1.9$) calculated from NS-EN 1996-1-1 [4] Norwegian annex based on Normal control class 3 and M5 designed mortar

To whom it may concern

Confirmation on paper contribution

F. Slapø¹, T. Kvande¹, N. Bakken², M. Haugen² and J. Lohne¹

Masonry's resistance to driving rain – mortar water content and impregnation

Buildings, submitted 16. June 2017

¹Department of Civil and Environmental Engineering,
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

www.ntnu.no

²SINTEF Building and Infrastructure

www.sintef.no

ABSTRACT: *It is the opinion of the authors that mortar consistency can have a large impact on masonry's resistance to driving rain. Water-repellent (WR) impregnation is typically considered as a quick fix when problems occur. Wall-panels of 1 m² built with three substantially different flow table values for the mortar are tested in a driving rain chamber where both time-lapse videos and measuring of penetrated water is used to evaluate performance. Subsequently the panels are impregnated with the most common types of WR products and retested. Changing the mortar mix from dry to wet can decrease penetration of driving rain by a factor of ten. Common WR's are ineffective in increasing masonry's resistance to driving rain. Masonry exposed to driving rain should be built with a mortar that has a high content of water.*

Fredrik Slapø initiated and carried out the main bulk of the research. The research has been conducted according to his initial ideas, concerning the problem to be addressed, the research design and the test program. He has been responsible for the literature review and the carrying out of the main part of laboratory work, and has been the main responsible for drafting the article.

Tore Kvande has served as the main supervisor during the process and has together with *Noralf Bakken* contributed in the design of the research program and in the analysis and interpretation of the results. *Noralf Bakken* initiated the impregnation part of the study and has together with *Fredrik* being responsible for the performance of the rain testing. *Marit Haugen* has executed the thin sections analysis. *Jardar Lohne* contributed to the research design, and has been responsible for an efficient scientific writing process and the analytic cohesion of the analysis.

All the co-authors have during the process provided critical comments on the prepared manuscript by *Fredrik Slapø* and they have all given final approval of the version to be published.


Fredrik Slapø


Tore Kvande


Noralf Bakken


Marit Haugen


Jardar Lohne

1 Article

2 Masonry's resistance to driving rain – mortar water 3 content and impregnation

4 Fredrik Slapø ^{1,*}, Tore Kvande ², Noralf Bakken ³, Marit Haugen ⁴ and Jardar Lohne ⁵

5 ¹ Master-mason, structural engineer and MSC student, Department of Civil and Environmental Engineering,
6 Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway; slapoe@gmail.com

7 ² Professor, dr. ing., Department of Civil and Environmental Engineering, NTNU, Trondheim, Norway;
8 tore.kvande@ntnu.no

9 ³ Research Engineer, SINTEF Building and Infrastructure at Department Architecture, Materials and
10 Structures, Trondheim, Norway; noralf.bakken@sintef.no

11 ⁴ Senior Research Scientist, SINTEF Building and Infrastructure at Department Architecture, Materials and
12 Structures, Trondheim, Norway; marit.haugen@sintef.no

13 ⁵ Research Scientist, dr. art., Department of Civil and Environmental Engineering NTNU, Trondheim,
14 Norway; jardar.lohne@ntnu.no

15 * Correspondence: slapoe@gmail.com; Tel.: +47-926-40-717

16 Academic Editor: name

17 Received: date; Accepted: date; Published: date

18 **Abstract:** Service life and function of masonry veneers are often compromised by precipitation
19 combined with poor design considerations, execution and selection of materials. Little research has
20 been carried out on the subject of the impact of mortar consistency on masonry's resistance to driving
21 rain. Water-repellent (WR) impregnation is typically considered as a quick fix when problems occur.
22 Wall-panels of 1 m² built with different flow table values for the mortar have been tested in a driving
23 rain chamber, where both time-lapse videos and measuring of penetrated water are used to evaluate
24 performance. Subsequently, the panels were impregnated with the most common types of WR
25 products and re-tested. The analysis shows that changing the mortar mix from dry to wet can
26 decrease penetration of driving rain by a factor of ten. The test results presented in this article show
27 that mortar with low water content gives a porous interfacial transition zone (ITZ), thereby increasing
28 the rate of water penetration. Tested WRs are found to be ineffective in increasing masonry's
29 resistance to high pressure driving rain. The results, combined with what is already known about
30 WR treatments on masonry, calls for careful consideration before applying such treatment. This
31 proves especially true in countries with much driving rain followed by frequent freeze-thaw cycles.

32 **Keywords:** driving rain; mortar flow; impregnation; clay brick masonry; workmanship techniques
33

34 1. Introduction

35 Climate changes are assumed to result in warmer and wetter climate in Norway [1,2], leading to
36 an increased risk of defects and early decay of buildings. The construction industry has a considerable
37 challenge in adapting buildings to the new and harsher climate. Masonry veneers are regarded to be
38 a long life, low maintenance façade material, thereby well adapted to a harsh climate. However,
39 warmer and moister conditions will lead to new challenges for the performance of masonry [3],
40 particularly related to increased amounts of rain.

41 Even though masonry ought to endure driving rain well over time, the extent of costly faults
42 and defects is discouraging. Problems are in general caused by water, or rather by the combination
43 of water and lack of knowledge, poor design or execution [4]. Of particular consequence to the quality

44 of masonry is the influence of frost. Limiting the water content of masonry veneers limits the risks of
45 damages influenced by frost [5]. Masonry in Norway is especially exposed to this challenge, since
46 large parts of the country experience very frequent freeze-thaw cycles [5]. Though the actual influence
47 of frost is not assessed in this article, frost challenges renders the analysis carried out in this article –
48 on the permeability of masonry under driving rain conditions – crucial to the Norwegian industry.

49 One common measure to improve the resilience of masonry to driving rain is impregnation [6].
50 Two types of studies have been found, studies using brick or parts of bricks and studies with masonry.
51 When only looking at the bricks, studies generally show a good effect of impregnation with various
52 water-repellents [7,8], significantly slowing down water absorption into the brick, thus rendering
53 them more resistant to frost degradation. Studies on masonry show a potential to decrease the
54 durability of the treated masonry. Šadauskienė et al. [9] found that hydrophobic treatment was
55 unable to significantly reduce the water permeability of masonry, allowing water to penetrate in
56 through the brick mortar (ITZ). This poses problem, since the treatment has reduced the vapor
57 conductivity of the masonry. This lead to the treated masonry failing prior to the untreated during
58 simulated climate load of moistening-freezing-heating cycles.

59 Specifications to the workmanship are equally imposed to improve the performance of masonry.
60 Design guidelines in Norway demand full bed and head joints in masonry, identified as the prime
61 factor for assuring resistance of masonry to rain [10]. The main reason for this demand is the
62 perceived need to obtain as far as possible impermeable masonry. “Full” is defined [11] as 85% for
63 head joints and 90% for bed joints, with no holes in the outer half of the joints. The standard NS 3420-
64 N [10] does not, however, specify neither the choice of bricks, nor the properties of the fresh masonry
65 mortar to be used.

66 Based on the experience of the main author in this article – being an experienced practitioner in
67 the field – the water content in fresh masonry mortar actually found on building sites varies strongly.
68 The hypothesis of this article is that mortar water content is crucial to achieve high quality masonry.
69 This, however, seems to be a rather neglected factor in the research literature aiming to achieve high
70 quality masonry. To address this general challenge, we address the following research questions:

- 71 • What is the influence of fresh mortar water content on resistance to driving rain of un-
72 impregnated masonry?
- 73 • What is the influence of impregnating masonry against driving rain?

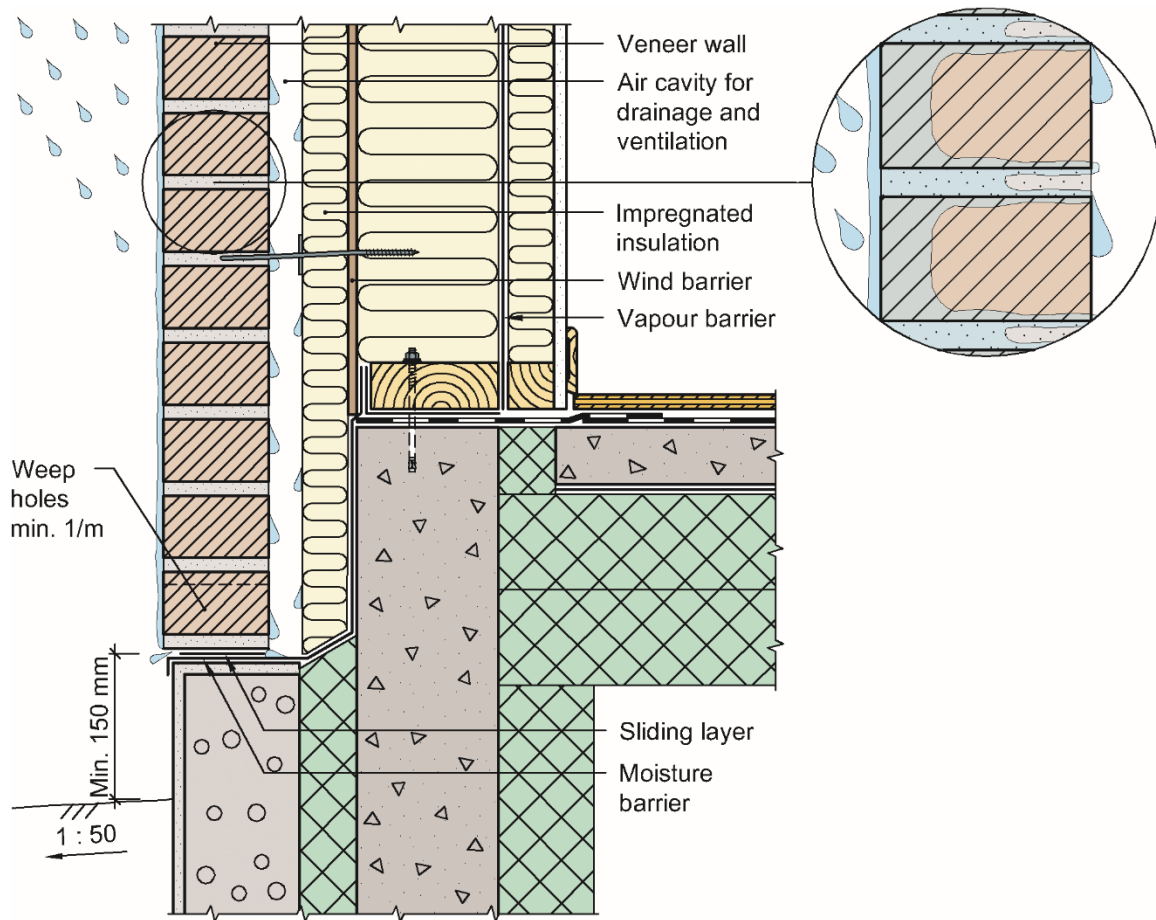
74 To address the first of these questions, four panels were tested out. The panels varied with
75 respect to water content of the mortar used (dry, medium, wet) and workmanship techniques (panels
76 built with the wet mortar was built with two separate techniques). To address the second, the same
77 panels underwent impregnation prior to retesting.

78 **2. Theoretical framework**

79 *2.1 Principal function of masonry veneer – common practice in Norway*

80 Bricks are commonly used as non-structural veneers, where their function is to protect buildings
81 from wind, rain and sun. Loading is mostly limited to self-weight, wind and thermal expansion loads.
82 Brick veneers are normally ½ brick thick and water permeable. Water that penetrates the veneer is
83 drained down the backside of the bricks and out through weep holes. The weep holes also provide
84 some ventilation of the air gap and helps drying the wall. Stiff mineral wool insulation plates are

85 designed for masonry veneers. Bricks stopping most of the rain combined with a vented and drained
86 cavity before the wind barrier complies with the dual layer climate screen principle, see Figure 1 [12].



87

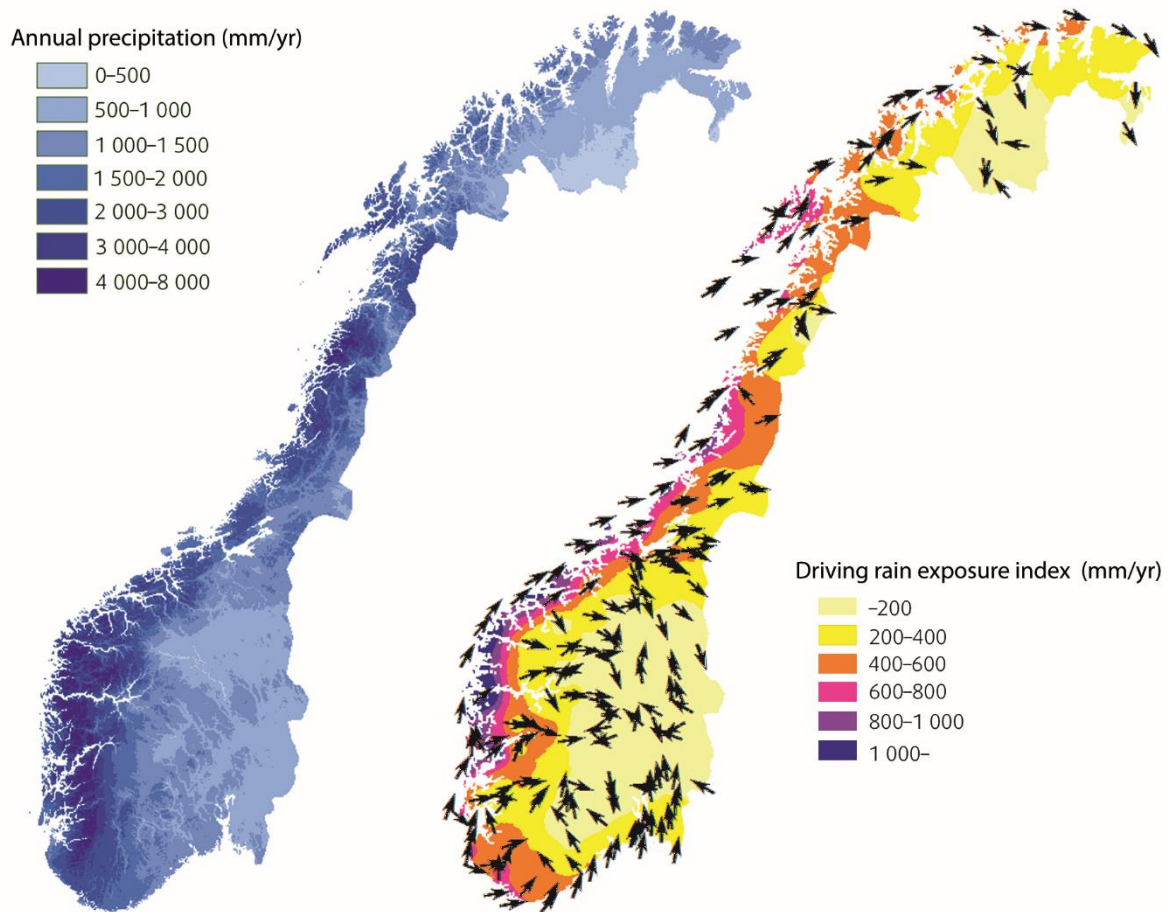
88

Figure 1. Masonry veneer – principal function.

89 There are no explicit requirements to the degree of water-tightness of masonry veneers in
90 Norway. Full bed and head joint is required [12], and the recommended workmanship technique to
91 ensure full head joints are to butter the head of the brick prior to laying [13].

92 2.2. Driving rain in Norway

93 Driving rain is rain driven by winds to fall at an angle allowing it to hit vertical surfaces. Local
94 conditions affecting the wind, mountains and fjords or buildings can cause large precipitation
95 variations [14]. Driving rain maps like the one in Figure 2 are based on long term averaged values
96 and is representative for long term events such as accumulation of moisture in porous materials [3].
97 The map present annual driving rain amount (illustrated with colour scale) from the main wind
98 direction (indicated with arrows) that gives the highest driving rain amounts at each observing
99 station.



100

101 **Figure 2.** Annual precipitation and driving rain map of Norway for the normal period 1961–1990 [15]

102 2.3. Defects in masonry

103 Masonry veneers are designed to withstand harsh climate conditions even if they are not
 104 watertight, provided they are designed and built correctly. Even so, there are costly and unnecessary
 105 defects to both new and old masonry veneers in Norway today. Most of these defects up to 80% [16]
 106 are related to moisture. Defects vary and are often caused by a combination of factors. Kvande and
 107 Lisø [16] have categorized defects to masonry in Norway from 1983 to 2002. In this categorization,
 108 they found “deficient rain barrier” to be the main cause in 14% of the cases and “lack of compatibility
 109 (adhesion)” in 6%. These two categories total 20% and is by the authors regarded to be directly related
 110 to the scope of this article. Other common causes of defects regarded to be indirectly related are
 111 “deficient flashing”, “insufficient durability of masonry units”, “deficient drainage of the wall”,
 112 “reinforcement corrosion”, “aesthetic problems” and “salt eruption”, the indirect causes total 39%.

113 2.4. Clay brick masonry resistance to driving rain

114 There are three ways for water to penetrate a sound brick wall. Through the bricks, through the
 115 mortar or through the brick mortar interfacial transition zone (ITZ). According to Groot and
 116 Gunneweg [17] the main factor is through the bricks for high suction (high initial rate of absorption
 117 - IRA) bricks and the ITZ for low to moderate suction bricks. Water-penetration and bond are closely
 118 related, Goodwin and West [18] report that researchers when investigating bond often test water-
 119 penetration, and use the indirect values as an indication of bond strength. If bond has a strong
 120 correlation to water-penetration, then water-penetration also have a strong correlation to bond. Groot
 121 and Gunneweg [17] also state that hydraulic mortar has significantly improved barrier effect,
 122 compared to mortars lacking hydraulic components.

123 2.5. *The influence of mortar water content on driving rain resistance*

124 Bowler et al. [19] found that mortar cohesivity strongly correlated with rain penetration. The
125 more cohesive the mortar, the better the resistance to penetration of water. Mortar cohesivity is
126 defined as mortar's ability to hold together and to stick to various surfaces. Bowler judged the
127 cohesivity of the mortar by the use of a flow table, where a smaller spread (for a constant consistency)
128 indicated more cohesivity. The consistency was measured by a plunger test.

129 Internationally, no articles addressing the specific question of water content in mortar on
130 masonry veneers water permeability have been identified through the literature review in the
131 research presented in this article. Baker et al. [20], however, analyzed the effect of mortar flow bond
132 strength of brickwork. They concluded that "[t]he flow of mortar is a sensitive and important
133 parameter influencing the flexural-bond strength of brickwork. Maximum strength is obtained with
134 mortars of wettest workable consistency" (p. 86). This analysis lies, in fact, very close to the research
135 reported on in this article. Baker et al. [20] uses, however, terms like "the wettest workable mix" and
136 "the driest workable mix", without reporting on the specific flow of the mortar employed. In addition,
137 the IRA of the brick used by Baker et al. [20] is high (3.2 kg/m²/min.). These analyses do not address
138 questions concerning resistance to rain penetration and deviate from the most common brick
139 properties within the Norwegian context (IRA approx. 1.0 kg/m²/min.).

140 A recent study of Costigan and Pavia [21] use bricks with an IRA of 1.0 kg/m²/min., consequently
141 are similar to Norwegian conditions. Their findings and conclusions none the less coincide with those
142 of Baker et al. [20]. Costigan and Pavia [21] focused on low-flow valued difference mortars (165 mm
143 versus 170 mm flow). The analysis presented lacks, however, any operational analysis of what the
144 actual flow variation can be in workplace conditions. In addition, their analysis focus on lime-based
145 mortar, and not on cement-based mortar (being most commonly used within the Norwegian AEC-
146 industry). Neither do they consider resistance to rain.

147 2.6. *The influence of impregnation of clay brick masonry on driving rain resistance*

148 As mentioned in the introduction, water repellents seem to work well with bricks. Masonry with
149 cracks and pores on the other hand is problematic. WR treatments are non-film and non-crack-bridge
150 forming, as early as 1963 Hutcheon [22] concluded that silicone masonry water repellents are unable
151 to prevent water from entering though cracks and large pores. Equally, he maintained that rate of
152 evaporation may decrease and walls could be worse off with regards to freeze thaw cycles. The
153 conclusion that impregnation could be destructive is since shared in full or partially by others
154 [9,23,24]. Table 1 gives an overview of four common types of WR impregnation products.

155

156

157

Table 1. Types of water-repellent impregnation.

Water repellent	Water Vapour Transmission	Water Repellence	Service Life Years	Characteristic
Silicone (resins)	Fair [23]	Varies [23]	1 [23]	Low resistance to alkaline building materials [25]
Silane	Very good [23]	Very good [23]	10+ [23]	Highly Volatile. React with moisture to form its water repellent characteristics. Composed of smaller molecules and, therefore, can penetrate deeper into the masonry. Alkali resistant. Effectiveness depends on the presence of alkaline materials. [25]
Siloxane	Very good [23]	Very good [23]	10+ [23]	Contains a built-in catalyst, reducing dependency on alkaline materials for effectiveness. Can penetrate deeply into the masonry substrate. Evaporates slower than silanes. [25]
Nano	Excellent [26]	Very good [26]	N/A	Show similar properties as traditional silane-siloxane products with respect to reducing water ingress. Affect drying of the material much less than traditional products. [26]

158 2.7. Knowledge gap

159 Some studies have been carried out on different mortar- and brick qualities. None have been
 160 identified, however, that consider the relationship between water content in fresh mortar and
 161 resistance to driving rain. Equally, the influence of impregnation to driving rain resistance seems to
 162 have been little scrutinized. For impregnation, the effect on bricks and mortar is known, also with
 163 regards to durability (especially under freeze-thaw conditions). The rain penetration resistance of
 164 veneers before and after impregnation seems, however, to have been largely unscrutinised.

165 3. Materials and Methods

166 3.1. Material selection and properties

167 Mortar and bricks were selected to best represent a typical Norwegian brick veneer wall. The
 168 mortar is a Portland cement (with some lime for workability) named Weber M5. This is the most used
 169 mortar in Norway. The bricks are Haga red perforated clay bricks from Wienerberger. Impregnation
 170 was chosen to test the four principal types of masonry water-repellent (WR) treatment silicone, silane,
 171 siloxane and nano-particulate. The materials are presented in Table 2 and Table 3.

172 **Table 2.** Masonry materials.

Material	Name	Producer	Details
Clay brick	Haga red	Wienerberger	WA 8% [27], IRA 1.0 kg/m ² /min.) *
Masonry mortar	M5	Weber	Portland Cement 11.7%, Lime 1-5%, Filler 11.4%, Chemicals 0.5% Natural sand 0-2 mm 60-100% [28,29]

173 * WA is a declared value, IRA was measured

174

Table 3. Water-repellent impregnation materials.

Material	Name	Producer
Silicone WR	Aquasil	Hey'di
Silane WR	Planisil WR-100	Mapei
Siloxane WR	1..2..fugeimpreg	Mira
Waterbased nano WR	SurfaPore C	SurfaProducts Scandinavia

175 *3.2. Building and impregnation of panels*

176 Four panels were built with different mortar flow and workmanship technique as variables.
 177 Panels named A, B and C was built using low, medium and high water content mortar. The
 178 building of A, B and C was done using the recommended workmanship technique of buttering.
 179 Panel D was built with high water content like C, but with another workmanship technique,
 180 notably that of pushing head joints. Different batches of the same mortar gave considerable
 181 variation in consistency with precisely the same dry mortar to water ratio. Therefore, even
 182 though water content was the variable we wanted to investigate, the mortar was judged by
 183 consistency i.e. flow table value rather than amount of water. Flow value of panels was A 135
 184 mm, B 174 mm, C and D 186 mm. Thus, water content, flow and consistency can be seen as
 185 synonymous in this research program. This might not be the case elsewhere, since mortar
 186 composition or additives can change consistency while keeping water content constant. Also,
 187 consistency could include other properties of the mortars rheology than only the flow table value.

188 Panels were 990 mm x 990 mm and the exposed front of the panels after mounting in frames
 189 was 950 mm x 950 mm. joints were on average 13 mm for both bed and head joints with a
 190 brushed concave finish. Bricks for adjustment were cut with a mason's brick chisel. The building
 191 of the panels was done in order to simulate real on site conditions. More precisely, this means
 192 that the panels where built between fixed corner poles from the front side only, and after
 193 completion excess mortar was removed. The panels were built and cured for 28 days (27 for B
 194 and D) in laboratory air, uncovered. Average temperature in the laboratory was 19.8 °C with a
 195 standard deviation of 0.5 °C, whereas average relative humidity was 21.5% with a standard
 196 deviation of 7.3%. After the first round of rain testing, the panels were dried for 11 weeks and
 197 then impregnated according to the producer's recommendations. See Table 4 for details on
 198 application of impregnation.

199

Table 4. Application of impregnation.

WR	Panel	Coats*	Drying between coats	Recommended consumption	Actual consumption
Aquasil	A	2	2.5 hours	0.2-0.4 l/m ²	0.30 l/m ²
Planisil WR-100	B	2	10 min.	0.1-0.2 l/m ²	0.15 l/m ²
1..2..fugeimpreg	C	2	None	0.10-0.05 l/m ²	0.15 l/m ²
SurfaPore C	D	1	-	0.13-0.10 l/m ²	0.11 l/m ²

200 * Both recommended and applied number of coats

201 *3.3. Test procedure NBI 29/1983*

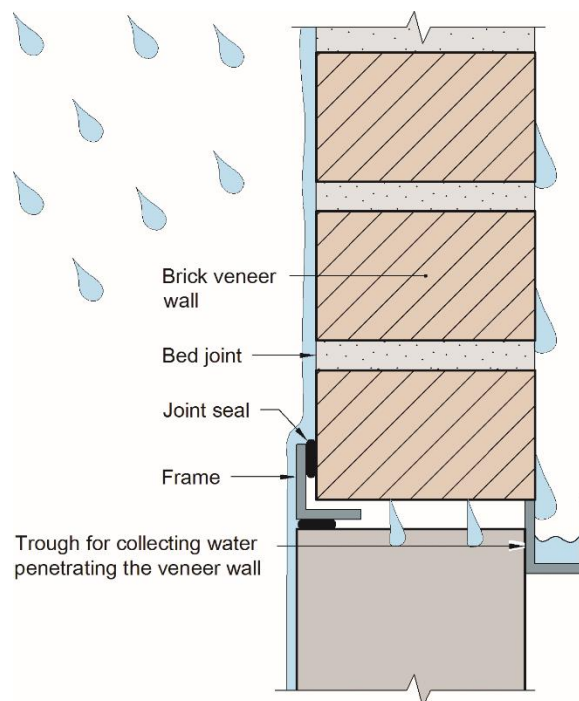
202 The tests were carried out in a driving rain chamber in accordance with NBI method 29/1983 [30]
 203 (internal SINTEF Building and infrastructure method). The panels were assembled in the opening of
 204 the apparatus with the exposed side facing inwards into the chamber. A joint sealant (tape) was used
 205 to seal the joint between the chamber and the panels' frames. A determination of driving rain
 206 resistance was carried out according to the following exposure procedure:

- 207 • Five hours with a static overpressure of 750 Pa (corresponding to wind with hurricane force)
- 208 and sprayed with water 1.2 l/(m² min). Spraying of water was located at the upper part of the
- 209 test panels, third course from the top.
- 210 • Five hours without air pressure and spraying water but with a stream of air on the panel surface
- 211 (fan continues to operate, cabinet is opened).
- 212 • Thirty-six hours with a static overpressure of 750 Pa and sprayed with water of 1.2 l/(m² min).

213 The test procedure includes monitoring of the panels during testing. Here the panels were
 214 photographed every 5 minutes, resulting in time-lapse videos. In the testing of the unimpregnated
 215 panels, they were monitored in person for the first two hours. In the testing of the impregnated panels,
 216 sporadic in person monitoring was carried out. Weighing of panels before and after was also carried
 217 out according to the procedure.

218 3.4. Assessment of water penetration following driving rain

219 The procedure used to assess water penetration following driving rain is not standardized or
 220 previously described, although the collection and measuring of water that penetrates a masonry wall
 221 has been carried out previously [17,31]. The aim was to collect solely the water that went through the
 222 panel, avoiding water that was running down on the inside of the panel or took the shortcut around
 223 the sealant in the corners. Following visual observation of the panels being completely soaked, the
 224 penetrating water was collected. Troughs were folded from heavy-duty aluminium foil slightly
 225 longer than the panels, 30 mm wide and 50 mm high. They were placed underneath the backside of
 226 the panels. See principle cross section illustration in Figure 3. 20 minutes was found to be the best
 227 practical compromise between not overfilling (reducing the risk of spilling) and still having sufficient
 228 water to minimize the measurement error by the water left in the troughs after emptying them into
 229 measuring cups. The amount of water was assessed in the same measuring cup. This was found to
 230 be sufficiently accurate for comparing the different panels.



231

232

Figure 3. Collecting water, principal cross-section.

233 3.5. Thin sections

234 Three thin sections (A, B and C) 48 mm x 28 mm were prepared from masonry built with
 235 approximately the same flow table values (A 148 mm, B 165 mm and C 196 mm) as for the wall panels.

236 The preparation of the thin sections was done by Thin Section Laboratory Norwegian University of
237 Science and Technology. The preparation included fluorescence impregnation and polishing.
238 Microscopy analysis with UV filters was performed. This analysis equally included the measurement
239 of actual contact between the bricks and the mortar (bond), and a visual assessment of the density of
240 the mortar.

241 3.6. Influence of workmanship

242 From professional experience, and from the previously mentioned building site visits it is known
243 that pushing the head joint is a common technique in Norway. This in contrast to the recommended
244 technique, which is to butter the end of bricks prior to laying to ensure full joints [13]. The
245 recommended technique is used for all three mortar mixes (panel A, B and C). To evaluate the
246 influence of workmanship panel D was built by pushing the head joints. The only difference between
247 C and D was the technique used to fill the head joints.

248 4. Results

249 4.1. Water penetration

250 The main results are based on visual observations, seeing when, where and how much water
251 penetrate the panels see Figure 4. The authors recommend seeing the time-lapse videos documenting
252 the procedure, to which a link is included in the Supplementary materials section. The panels were
253 first tested without any form of coating, and later impregnated with four types of WR see Table 3.



254

255

Figure 4. Panels A, B, C and D after 45 minutes of simulated driving rain.

256 First presented is the results for the untreated panels, in Figure 4 and in the upper part of Table
 257 5. Panel C is clearly better than the others, in order by appearance in Figure 4 from best to worst C,
 258 B, A and D. The first or major points of leakage seem to be somewhat randomly distributed, even so
 259 some assumptions can be made from knowledge about the panels and observation of the test. Panels
 260 were built between corner poles, therefore there was no room to compress the last joint on each course.
 261 The last joint can be seen on the left (back) side of the panels in figure 4. All panels show signs of
 262 leaking more easily at the last joint. A corner pole or the meeting point between two masons would be
 263 the equivalent on a construction site. It also looks like the head joints are worse than the bed joints.
 264 An exception is panel D where the bed joints appear to be somewhat worse than for the other panels.
 265 This implies that taking mortar from bed joints to fill head joints has a negative impact on the bed
 266 joint.

267 Prior to testing, it was expected that incomplete filling of mortar in some of the joints could be
 268 weak points. This appears, however, not to be the case. It can be seen in Figure 4 that the joints are
 269 not completely filled on the backside of the panels. Even by means of careful observation it was not
 270 possible to observe any additional weakness in these areas.

271

Table 5. Wetting of the backside of panels [%]

Time State ²	Panel A			Panel B			Panel C			Panel D ¹		
	D	M	W	D	M	W	D	M	W	D	M	W
5 min	95	5	0	95	5	0	95	5	0	85	10	5
15 min	90	5	5	90	10	0	95	5	0	80	15	5
30 min	80	10	10	85	10	5	90	10	0	70	20	10
1 hours	60	20	20	70	15	15	90	10	0	55	25	20
2 hours	25	40	35	50	30	20	85	10	5	40	30	30
5 hours	15	20	65	30	45	25	65	20	15	15	15	70
< 5% D	6 hours 20 min			8 hours 25 min			11 hours 50 min			5 hours 25 min		
Time State ²	A silicone			B silane			C siloxane			D nano-particulate		
	D	M	W	D	M	W	D	M	W	D	M	W
5 min	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0
15 min	90	5	5	90	10	0	100	0	0	95	5	0
30 min	80	15	5	80	15	5	95	5	0	90	10	0
1 hours	45	35	20	50	40	10	95	5	0	75	20	5
2 hours	15	45	40	20	65	15	95	5	0	30	65	5
5 hours	10	55	35	10	80	10	85	10	5	15	75	10
< 5% D ³	6 hours 30 min			7 hours 25 min			13 hours 0 min			5 hours 45 min		

272 ¹ Note that panel D has been built by pushing the head joints unlike the rest of the panels where mortar for
 273 the head joints was placed on the brick prior to laying.

274 ² State describes Dry (no sign of moisture), Moist (dark fields/spots) and Wet (visible free water, shiny surface)
 275 the values are visually derived from the time lapse videos with accuracy limited to 5%.

276 ³ Time until more than 95% of the backside surface is wet or moist.

277 From visual inspection during testing impregnated panels showed some resilience to wetting of
 278 the façade surface, confirming that they were to some degree water repellent. Table 5 show that all
 279 panels were in fact more resistant to rain penetration in the early stages of the test. Even so both the
 280 visual results in Table 5 and the measuring of water passing through the panels in Table 7 indicates
 281 little to no improvement in the water-tightness of the panels due to impregnation with water-
 282 repellent silicone, silane siloxane and nanoparticulated.
 283

284 Weighing before and after testing form part of NBI 29/1983 [30], and results are presented in
 285 Table 6. All panels were soaked after completion of the test procedure so the results do not provide
 286 much information except from the mass increase (≈ 115 N). This accords well with panel size and the
 287 declared water absorption of the bricks (8% see Table 2).

288

Table 6. Mass gain of panels [N].

	Panel A	Panel B	Panel C	Panel D
Untreated	138	98	111	109
Impregnated	111	107	117	115

289 The prescribed breaking of the panels in accordance with NBI 29/1983 [30] – carried out to
 290 measure how far the water has penetrated – was not carried out, since the panels clearly were wet
 291 all the way through.

292

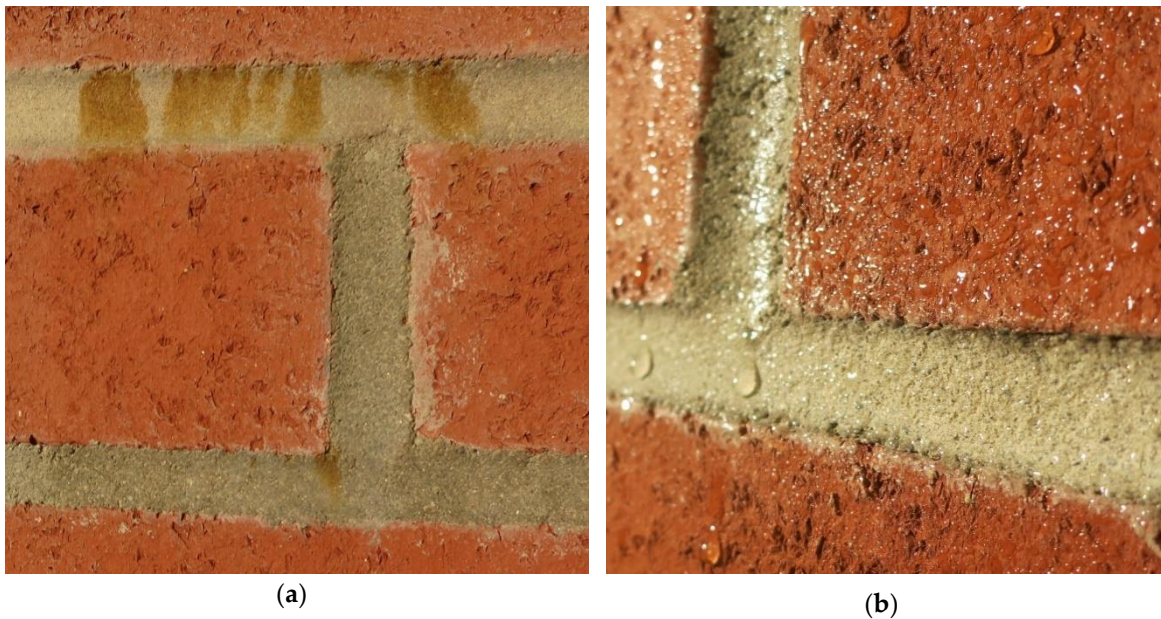
Table 7. Water penetration towards the end of the testing.

	Panel A	Panel B	Panel C	Panel D
Flow - mm	135	174	186	186
Penetration - l/h*m ²	1.14	0.97	0.14	0.67
Water-repellent	Silicone	Silane	Siloxane	Nano- particulate
Treated penetration	1.15	1.38	0.06	0.50

293 All the tested WR's is supposed to be invisible, and were in fact invisible after application. After
 294 testing it looks like all the panels have a weak brown yellow discoloration of the three upper joints.
 295 These joints were above the water spraying heads during testing. Also, panel A and panel B have rust
 296 brown deposits running down the wall from some of the ITZ between the brick and mortar. See
 297 example in Figure 5 (a). A simple spray test to evaluate water repellence was performed. All panels
 298 prove to be water repellent, and all panels absorbed some water. Ranking the WR's from best to worst
 299 based on visual impression gave the following order. Nano was best, Silane and Siloxane were similar
 300 and Silicone had the poorest performance. Figure 5 (b) shows a part of panel D (Nano) during spray
 301 testing.

302

303



304 **Figure 5.** (a) Rust brown deposits from ITZ's of panel B after drying; (b) Water repellency of panel D.

305 *4.3. Microscopy analysis of thin sections*

306 The quality of the interface between the brick and the mortar differs between the three thin
 307 sections, see Table 8. In the areas without contact, elongated air voids and some cracks were observed.
 308 The samples made from masonry with dry and medium mortar both had one interface (brick to
 309 mortar) loosened during preparation of the thin sections.

310 **Table 8.** Contact in/on brick and mortar interface.

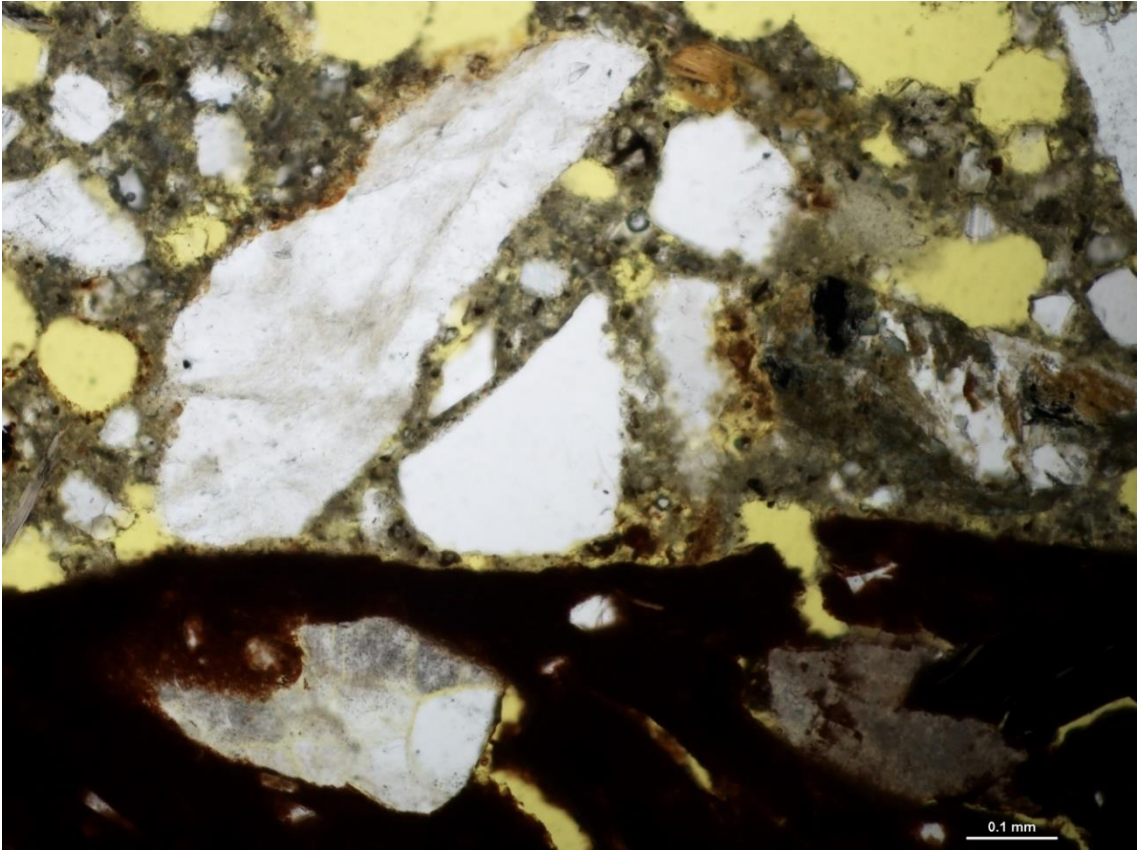
Thin section	Dry	Medium	Wet
Upper ITZ of joint	Fracture	Fracture	35%
Lower ITZ of joint	10%	20%	50%

311 In the dry sample, a somewhat lower porosity can be observed in the mortar at the interface
 312 from the brick surface to max 0.4 mm from the brick. The reason for this is most likely that the brick
 313 has sucked water from the mortar during the hydration process. This phenomenon can hardly be
 314 observed for medium water content sample, and not at all for the wet sample.

315 Figure 6 is an example of an area with good bond and were there the contact zone between
 316 mortar (on top) and the brick (bottom, dark area) is good. Good contact between mortar and brick
 317 leaves less pores for water to penetrate. In figures 6 and 7, the yellow parts are air voids, filled with
 318 yellow epoxy. Both Figure 6 and 7 are made from samples that was built using wet mortar. Figure 6
 319 illustrates good contact between mortar and bricks. Figure 7 show large, elongated air voids in the
 320 ITZ, where water easily can penetrate.

321

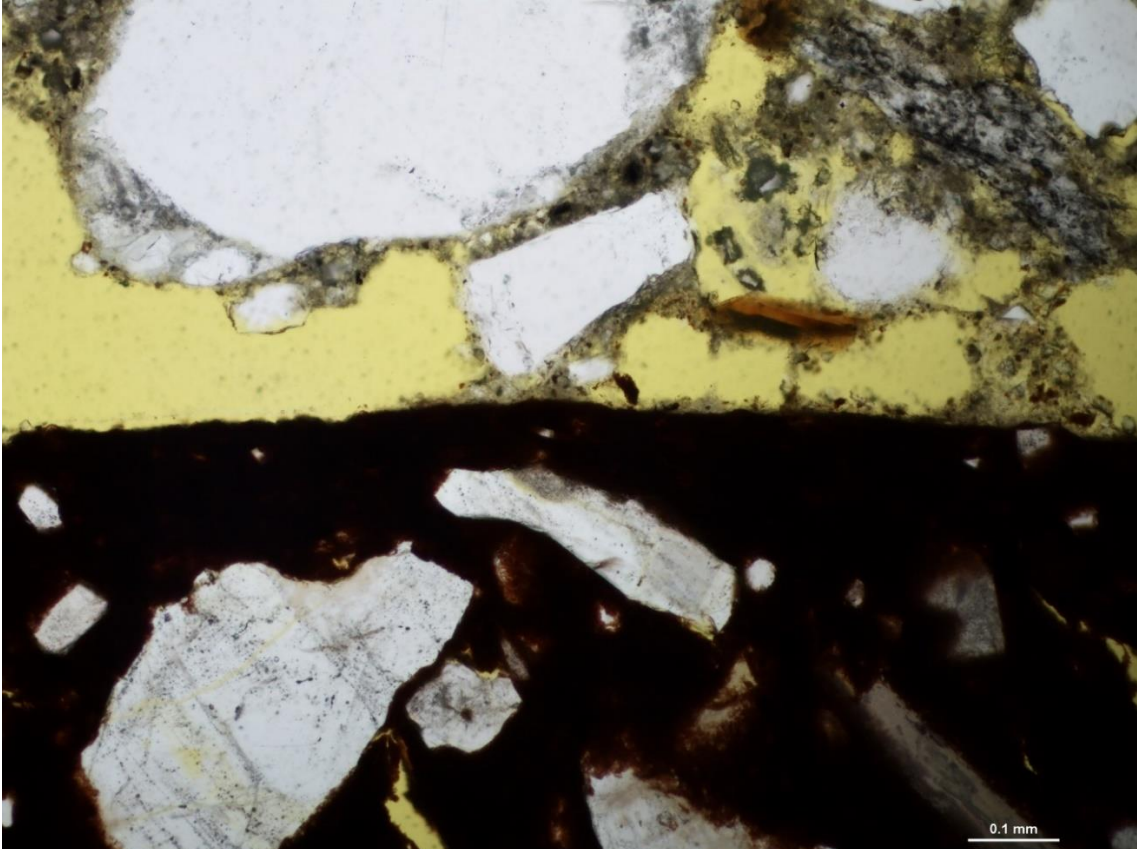
322



323

324

Figure 6. Microscopy image of thin section, area with good contact.



325

326

Figure 7. Microscopy image of thin section, area with large, elongated air voids.

327 5. Discussion

328 The research reported on in this paper set out to find 1) the influence of fresh mortar water content
329 on resistance to driving rain of un-impregnated masonry and 2) the influence of impregnating
330 masonry against driving rain.

331 5.1 The influence of fresh mortar water content

332 Using wet masonry mortar has shown to be effective in achieving good bonding between mortar
333 and brick, thus strongly reducing water permeability. The result is that more water in fresh mortar
334 improves resistance to driving rain. This appears to contradict Bowler et al. [19], maintaining that a
335 smaller flow table spread would be more resistant to driving rain penetration. By measuring flow at
336 a constant consistency (measured by a plunger), Bowler et al. [19] measured the properties of the
337 mortar itself rather than the effect of added water. Therefore, both conclusions could be sound, and
338 the combined conclusion would be that masonry mortar should have both good cohesion and a high
339 flow value.

340 Placing mortar consistency in a broader context, it seems probable that changing from dry to wet
341 mortar would lead to reducing moisture related defects and decay, improving structural properties
342 and – according to the experience of the main author – an increased pace of building. The
343 disadvantages could be challenges to achieve aesthetic quality equal to that obtained by using dry
344 mortar, since wet mortar increases spilling and the need for cleaning of new walls.

345 According to the analysis, workmanship techniques seem to be significant. Table 5 show that
346 the untreated panel D has the poorest early stages performance of all panels. This is so, even if it was
347 built with the same wet mortar as panel C, which was the best in all aspects. This indicates that
348 using the recommended technique of buttering the bricks can significantly improve masonry quality.
349 Due to only one panel having been built by pushing the head joint, the research reported on in this
350 article is not sufficient to make general recommendations concerning workmanship. Einstadblad and
351 Westbye [31] found in their tests of workmanship techniques that buttering was better for red bricks
352 (IRA 1.0 kg/m²/min.) but not for yellow bricks (IRA 4.0 kg/m²/min.). Their conclusion was that the
353 most important factor was the mason's professional pride or work ethics. Their masonry techniques
354 (especially in that the mortar used was drier than what is used in the research reported on in this
355 paper) differ in a manner that render comparison challenging. Non the less, we agree that these are
356 important factors. Even so, we maintain that knowledge about other more specific factors is equally
357 important. Amongst these, knowledge on mortar water content and workmanship is essential both
358 for practitioners seeking to deliver the best they can and for imposing quality standards.

359 5.2 The influence of impregnating masonry

360 Hydrophobic impregnation reduced water penetration in all four tested WR's in the first
361 minutes. After this, no measurable improvement could be observed. The observed failure to reduce
362 water permeability could to some extent be due to the extreme conditions of the testing procedure,
363 especially the overpressure 750 Pa (equal to hurricane wind speed). Such conditions have earlier been
364 shown to influence performance of rendered masonry compared to testing without overpressure [32].

365 Because the WR's were tested on substantially different panels, there is no basis for evaluation
366 the different WR's against each other. Both the abilities of the specific WR and the properties of the
367 panel could contribute to the recorded performance. Testing WR's on similar panels with a more
368 realistic wind load would be beneficial in evaluating their performance. Figure 7 with large,
369 elongated air voids of around 200 µm can explain why the WR's are unable to increase resistance to
370 driving rain. Impregnated veneers allow moisture to enter, and hinders it in escaping. Water retained
371 in the masonry increases the risk of frost deterioration, as reported by Šadauskienė et al. [9]. Blom [6]
372 recommend using WR impregnation on masonry veneers, stating that it will efficiently reduce
373 moisture in veneer walls, and reduce moisture load on the internal part of the wall. He does, however,
374 question the efficiency if the wall has cracks that can lead to capillary suction of water into the wall.
375 Based on driving rain test and thin section analysis we find it reasonable to assume that the ITZ

376 between mortar and brick masonry does in fact have air voids that cannot be protected from moisture
377 ingress by applying WR impregnation.

378 **6. Conclusion**

379 High flow i.e. high water content masonry mortar strongly improves masonry veneers'
380 resistance to driving rain, even for low to moderate IRA bricks. Within the workable range of mortar
381 consistency, more water unequivocally provides improved results. The test results presented in this
382 article show that mortar with low water content gives a porous ITZ, thereby increasing the rate of
383 water penetration.

384 According to the test results, WR treatment cannot be expected to improve masonry veneers'
385 resistance to high pressure driving rain. The results reported in this article, combined with what is
386 already known about WR treatments on masonry, calls for careful consideration before applying such
387 treatment. This proves especially true in Norway and other countries with much driving rain
388 followed by frequent freeze-thaw cycles.

389 **Supplementary Materials:** The following are available online at www.mdpi.com/link, Videos: S1 Time-laps
390 Untreated A and B, S2 Time-laps Untreated C and D, S3 Time-laps Silicone A and Silane B, S4 Time-laps Siloxane
391 C and Nano D.

392 **Acknowledgments:** We would like to present our gratitude to Klima 2050 as the founding participant of the
393 research presented in this article. Likewise, Weber has been very welcoming. A special thanks to CAD operator
394 Remy Eik.

395 **Author Contributions:** Fredrik Slapø initiated and carried out the main bulk of the research. The research has
396 been conducted according to his initial ideas, concerning the problem to be addressed, the research design and
397 the test program. He has been responsible for the literature review and the carrying out of the main part of
398 laboratory work, and has been the main responsible for drafting the article.

399 Tore Kvande has served as the main supervisor during the process and has together with Noralf Bakken
400 contributed in the design of the research program and in the analysis and interpretation of the results. Noralf
401 Bakken initiated the impregnation part of the study and has together with Fredrik Slapø been responsible for
402 the performance of the rain testing. Marit Haugen has executed the thin sections analysis. Jardar Lohne
403 contributed to the research design, and has been responsible for an efficient scientific writing process and the
404 analytic cohesion of the analysis.

405 All the co-authors have during the process provided critical comments on the prepared manuscript by Fredrik
406 Slapø and they have all given final approval of the version to be published.

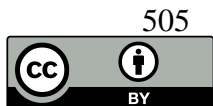
407 **Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The founding sponsors had no role in the design
408 of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, and in the
409 decision to publish the results.

410 **References**

- 411 1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the
412 Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K.
413 Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp 10.
- 414 2. Andreassen, L.M.; Beldring, S.; Bjune, A.; Breili, K.; Dahl, C.A.; Dyrddal, A.V.; Isaksen, K.; Haakenstad, H.;
415 Haugen, J.E.; Hygen, H.O.; Langehaug, H.R.; Lauritzen, S.-E.; Lawrence, D.; Melvold, K.; Mezghani, A.;
416 Ravndal, O.R.; Risebrobakken, B.; Roald, L.; Sande, H.; Simpson, M.J.R.; Skagseth, Ø.; Skaugen, T.; Skogen,
417 M.; Støren, E.N.; Tveito, O.E.; Wong, W.K. and editors Hanssen-Bauer, I.; Førland, E.J.; Haddeland, I.;
418 Hisdal, H.; Mayer, S.; Nesje, A.; Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S.; Sandø, A.B.; Sorteberg, A.; Ådlandsvik, B. Klima
419 i Norge 2100 - Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015 (Knowledge basis for climate
420 adaption updated version 2015). *NCCS report no. 2/2015*. Available online:
421 [https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-](https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8)
422 [publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8](https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8) (accessed on 4 June 2017).
- 423 3. Lisø, K. R. Building envelope performance assessments in harsh climates: Methods for geographically
424 dependent design. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology - Faculty of Engineering,
425 Trondheim, Norway, 2006. <http://www.ivt.ntnu.no/docs/bat/bm/phd/KRLiso-PhD-2006-185.pdf>
- 426 4. Lisø, K.R.; Kvande, T.; Thue, J.V. Learning from experience – an analysis of process induced building
427 defects in Norway. 3rd International Building Physics/Science Conference, Montreal, Canada, August 27-
428 31, 2006.
- 429 5. Lisø, K.R.; Kvande, T.; Hygen, H.O.; Thue, J.V.; Harstveit, K. A frost decay exposure index for porous,
430 mineral building materials, in E.H. Mathews (ed.). *Building and Environment* **2007**, 42(10), pp. 3547-3555,
431 DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.022
- 432 6. Blom, P. Fuktsikker innvendig etterisolering av mur- og betongvegger (Moisture safe internal insulation
433 on existing masonry and concrete walls) *SINTEF fag prosjektrapport nr. 22*, 2014, SINTEF akademisk forlag.
434 ISBN: 978-82-536-1404-5
- 435 7. Stefanidou, M.; Karozou, A. Testing the effectiveness of protective coatings on traditional bricks.
436 *Construction and Building Materials* **2016**, 111, pp. 482-487, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.114
- 437 8. Defreese N.; Charola E. Coatings on Brick Masonry: Are They Protective or Can They Enhance
438 Deterioration? *Journal of the American Institute for Conservation* **2007**, 46(1), pp. 39-52. Available online:
439 <http://www.jstor.org/stable/40026534> (accessed on 4 June 2017).
- 440 9. Šadauskienė, J.; Ramanauskas, J.; Stankevičius, V. Effect of Hydrophobic Materials on Water
441 Impermeability and Drying of Finish Brick Masonry. *Materials Science* **2003**, 9(1), pp. 94-98. Available online:
442 [https://www.researchgate.net/profile/Iolanta_Sadauskiene/publication/237779777_Effect_of_Hydrophobi](https://www.researchgate.net/profile/Iolanta_Sadauskiene/publication/237779777_Effect_of_Hydrophobic_Materials_on_Water_Impermeability_and_Drying_of_Finish_Brick_Masonry/links/53fb1c580cf27c365cf06ef8.pdf)
443 [c_Materials_on_Water_Impermeability_and_Drying_of_Finish_Brick_Masonry/links/53fb1c580cf27c365cf](https://www.researchgate.net/profile/Iolanta_Sadauskiene/publication/237779777_Effect_of_Hydrophobic_Materials_on_Water_Impermeability_and_Drying_of_Finish_Brick_Masonry/links/53fb1c580cf27c365cf06ef8.pdf)
444 [06ef8.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Iolanta_Sadauskiene/publication/237779777_Effect_of_Hydrophobic_Materials_on_Water_Impermeability_and_Drying_of_Finish_Brick_Masonry/links/53fb1c580cf27c365cf06ef8.pdf) (accessed on 19 April 2017).
- 445 10. NS 3420-N:2012 Specification texts for building, construction and installations Part N: Masonry and rigid
446 tile work **2012**. Standard Norge.
- 447 11. Rocky Mountain Masonry Institute. Mortar Joints – How Full is Full? *Masonry Tech Memo* **1996**, 1(1), pp. 1-
448 2. Available online: <http://www.masonrysystems.org/pdf/Mortar-joint-fullness-tech-memo001.pdf>
449 (accessed on 22 May 2017).
- 450 12. Kvande, T. Murt forblending (masonry veneers). *SINTEF Building Research Design Guide* 542.301., **2013**.
451 Available online: https://www.byggforsk.no/dokument/475/murt_forblending (accessed on 4 June 2017).
- 452 13. Madsø F.E.; Wold-Hansen G.; Høiby A. Murkatalogen Anvisning P1 Skallmurvegger (Masonry Catalog –
453 Guide P1 Masonry veneers). Mursenteret, Oslo, Norway 1998
- 454 14. Blocken, B.; Carmeliet, J. A review of wind-driven rain research in building science. *Journal of Wind*
455 *Engineering and Industrial Aerodynamics* **2004**, 92(13), pp. 1079-1130, DOI:10.1016/j.jweia.2004.06.003

- 456 15. Kvande, T.; Lisø, K.R.; Hygen, H.O. Klimadata for dimensjonering mot regnpåkjenning (Climate data for
457 design to rain). *SINTEF Building Research Design Guide 451.031.*, 2013. Available online:
458 https://www.byggforsk.no/dokument/3331/klimadata_for_dimensjonering_mot_regnpaakjenning
459 (accessed on 4 June 2017).
- 460 16. Kvande T.; Lisø K. R. Climate adapted design of masonry structures. *Building and Environment* 2009, 44(12),
461 pp. 2442-2450, DOI:10.1016/j.buildenv.2009.04.007
- 462 17. Groot, C.J.W.P.; Gunnweg, J.T.M. The influence of materials characteristics and workmanship on rain
463 penetration in historic fired clay brick masonry. *HERON* 2010, 55(2), pp. 141-153. Available online:
464 (accessed on 19 April 2017).
- 465 18. Goodwin, F.; West, H. A Review of the Literature on Brick/Mortar Bond, Proceedings of the British masonry
466 society. Load Bearing Brickwork (7), British Ceramic Society. pp. 23-37. Stoke-on-trent 1982
- 467 19. Bowler, G.K.; Jackson, P.J.; Monk, M.G. The Role of Mortar Workability (Cohesivity) in the Rain Penetration
468 of Masonry. *International Masonry Society*, 1996, 10(1), pp. 25- 25. Available online:
469 [https://www.masonry.org.uk/downloads/the-role-of-mortar-workability-cohesivity-in-the-rain-](https://www.masonry.org.uk/downloads/the-role-of-mortar-workability-cohesivity-in-the-rain-penetration-of-masonry/)
470 [penetration-of-masonry/](https://www.masonry.org.uk/downloads/the-role-of-mortar-workability-cohesivity-in-the-rain-penetration-of-masonry/) (accessed on 06 June 2017).
- 471 20. Baker, L. Some Factors Affecting the Bond Strength of Brickwork, Fifth International Brick Masonry
472 Conference, VIBMaC. pp. 62-72. Washington DC 1982
- 473 21. Costigan, A. and Pavia, S. Effect of mortar water content in the properties of masonry, 9th International
474 Masonry Conference. Guimarães Escola de Engenharia. Universidade do Minho: IMS. Portugal July 07-
475 09, 2014.
- 476 22. Hutcheon N.B. Silicone Masonry Water Repellents. National Research Council Canada 1963. DOI:
477 10.4224/20358626
- 478 23. Colorless Coatings for Brick Masonry. In Technical Notes on Brick Construction, The Brick Industry
479 Association, Virginia, August 2008. Available online:
480 <http://www.gobrick.com/portals/25/docs/technical%20notes/tn6a.pdf> (accessed on 18 May 2017).
- 481 24. Kvande, T. Fuging og tynne overflatebehandlinger på teglfasader (Jointing and thin surface treatments on
482 masonry veneers). *SINTEF Building Research Design Guide 542.801.*, 2015. Available online:
483 https://www.byggforsk.no/dokument/485/fuging_og_tynne_overflatebehandlinger_paa_teglfasader
484 (accessed on 4 June 2017).
- 485 25. Types of Masonry Water Repellents. Available online: <https://www.gsa.gov/portal/content/112042>
486 (accessed on 18 May 2017).
- 487 26. Lubelli, B.; van Hees, R.P.J. Evaluation of the Effect of Nano-Coatings with Water Repellent Properties on
488 the Absorption and Drying Behaviour of Brick. 6th International Conference on Water Repellent Treatment
489 of Building Materials. Aedificatio Publishers, pp. 125 – 136. 2011. Available online:
490 http://www.hydrophobe.org/pdf/rome/VI_12.pdf (accessed on 09 June 2017).
- 491 27. Wienerberger AB (2016) Declaration of Performance, DoP-number: 21115190-A1W2111.
- 492 28. Saint-Gobain Byggevarer as (2014) NEPD00130E Rev1, weber Murmørtel M5, dry mortar. Available at:
493 [https://www.weber-](https://www.weber-norge.no/fileadmin/user_upload/EPD/NEPD00130E_Rev1_weber_murmoertel_M5_GODKJENT.pdf)
494 [norge.no/fileadmin/user_upload/EPD/NEPD00130E_Rev1_weber_murmoertel_M5_GODKJENT.pdf](https://www.weber-norge.no/fileadmin/user_upload/EPD/NEPD00130E_Rev1_weber_murmoertel_M5_GODKJENT.pdf)
495 (accessed: 31 May 2017).
- 496 29. Weber Saint Gobain (2016) Declaration of Performance, Nr. DoP-NO-M418972222, Version 2. Available at:
497 https://www.weber-norge.no/uploads/tx_weberproductpage/dop-1_Weber_Murm_rtel_M5.pdf (accessed:
498 31 May 2017).
- 499 30. NBI 29/1983 Mørtler. Tetthet mot slagregn (Mortars. Resistance to driving rain). NBI prøvemetode NBI-29
500 Norges byggforskningsinstitutt Oslo 1983.

- 501 31. Einstadblad, H.; Westbye, A. Murverk av tegl - sammenheng mellom utførelse og kvalitet (Clay brick
502 masonry – relations between workmanship and quality). Master thesis, Norwegian University of Science
503 and Technology, Trondheim, Norway, 1999.
- 504 32. Kvande, T.; Lisø, K.R.: Regendichter Putz für gemauerte Fassaden. *Das Mauerwerk* 2003, Heft 2, pp. 59-65



© 2017 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

F. Slapø¹ og T. Kvande¹

Mørtelkonsistens – stor betydning, liten oppmerksomhet

mur+betong. 2/2017 s. 51 - 52

¹Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

www.ntnu.no

INGRESS: Murmørtel blandes på byggeplass av tørrmørtel og vann. I motsetning til andre blandeprosesser på byggeplass der vekt eller volum gir blandeforholdet, blandes mørtel til den konsistens mureren foretrekker. Men variasjon i vannmengde har stor innvirkning på heften mellom mørtel og teglstein, og dermed på kvaliteten til det ferdige murverket.

Artikkelen gir et sammendrag av masteroppgaven til Fredrik Slapø med unntak av regnprøvingen av de impregnerte teglpanelene. Innlegget er en mer omfattende versjon av «Best med våt murmørtel» og er skrevet av Fredrik Slapø med veiledning av Tore Kvande.


Fredrik Slapø


Tore Kvande

MØRTELKONSISTENS

– stor betydning, liten oppmerksomhet

Murmørtel blandes på byggeplass av tørrmørtel og vann. I motsetning til andre blandeprosesser på byggeplass der vekt eller volum gir blandeforholdet, blandes mørtel til den konsistens mureren foretrekker. Men variasjon i vannmengde har stor innvirkning på heften mellom mørtel og teglstein, og dermed på kvaliteten til det ferdige murverket.

Når mureren bestemmer konsistensen på murmørtelen, gjøres den etter egne preferanser. Vanntilsetningen kan derfor variere mellom byggeplasser og mellom murerlag.

Fredrik Slapø's masteroppgave tar utgangspunkt i hans inntrykk, fra sju år som praktiserende murer, av at variasjonen i mengde vann som tilsettes tørrmørtel på byggeplass er stor. Målet med oppgaven er å avdekke om variasjonen i vannmengde har konsekvenser for kvaliteten til ferdig herdet teglmurverk.



Tekst: Fredrik Slapø, student og Tore Kvande, professor, Institutt for bygg- og miljøteknikk

Hvorfor våt eller tørr mørtel?

Muring med lite tilsatt vann gir en stiv mørtel som er

- enklere å mure uten søl, og som dermed reduserer behovet for rengjøring av ferdig fasade.
- enklere å mure nøyaktig, i den forstand at det er vanskelig å trykke mursteinene for langt ned
- mer 'tilgivende' og gir inntrykk av økt kvalitet.

Muring med våt mørtel

- er fysisk lettere for mureren siden den er lettere å hente fra beholderen, legge ut og presse mursteinen ned i. Muliggjør derved raskere fremdrift
- klistrer seg lettere til steinen, kan gi mer søl på murverket
- kan ved for rask oppmuring gjøre at vekten gir sammentrykking av nedre skift i murverket før mørtelen har satt seg.

Krav til vanninnhold i mørtel

Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner – Del 2 'Valg av materialer og utførelse av murverk' krever tilfredsstillende heft mellom mørtel og murprodukt, og sier at dette skal oppnås ved å følge prosjektbeskrivelse, og dersom dette mangler skal anbefalinger fra produktleverandørene følges. Wienerberger (steinprodusent) spesifiserer at mørtelen skal være tilpasset minuttstug til teglsteinen for å oppnå ønsket samvirke, mens

Weber Saint-Gobain (mørtelprodusent) anbefaler å bruke riktig konsistens på mørtelen for å minske søl og lette rengjøring.

Etter vår oppfatning er slike beskrivelser for lite spesifikke. Valg av mørtelkonsistens blir dermed i stor grad overlatt til murerne på byggeplass uten tilstrekkelig opplæring til å ta dette valget. Pensumboken for murerutdanningen, 'Mur' av Eldar Juliebø, sier at forholdet mellom teglsteinens minuttstug og mørtelens vanntapmotstand bestemmer heftegenskapene for murverket, og at et fordelaktig forhold her sikrer god heft. Mureropplæringen går ikke mer i dybden på hvordan dette gunstige forholdet skal oppnås, og omtaler heller ikke 'mørtelkonsistens'.

Prøveprogram

Hensikten med prøveprogrammet var å studere effekten på det i dag mest typiske norske murverket. Derfor er det valgt Wienerberger Haga ru rød (minuttstug 1,2 kg/(m²·min)) teglstein murt med Weber M5. Kvaliteten til herdet teglmurverk (28 døgn) er kontrollert ved prøving av bøyestrekkefasthet, initials kjærfasthet, trykkfasthet og regnetthet, og prøving er utført i tilknytning til SFI Klima 2050. Resultatene er oppsummert i tabell 1.

Som et forarbeid til masteroppgaven, ble syv byggeplasser med utvendig teglmuring i Midt-Norge besøkt høsten 2016. Måling av mørtelkonsistens viste store variasjoner, og denne variasjonen



Den mest regntette teglfasaden oppnås ved muring med våt mørtel. Foto: Geir Mogen

Egenskap	Prøvestandard	Måle-enhet	Krav	Mørtelkonsistens		
				Tørr/stiv	Mid-dels	Våt
Fersk mørtel-konsistens (rystebord)	NS-EN 1015-3	mm	-	150	170	190
Mørtel-trykkfasthet	NS-EN 1015-11	N/mm ²	5,0 **	16,3	13,4	10,2
Mørtel bøyestrekfasthet	NS-EN 1015-11	N/mm ²	-	3,15	3,02	2,19
Trykkfasthet murverk	NS-EN 1052-1	N/mm ²	6,0 *	13,6	13,9	13,5
Bøyestrekfasthet murverk	NS-EN 1052-2	N/mm ²	0,36 *	0,19	0,23	0,31
Initialskjærfasthet murverk	NS-EN 1052-3	N/mm ²	0,28 *	0,04	0,15	0,28
Regngjennomtrengning	NBI 29/1983	l/(h·m ²)	-	1,14	0,97	0,14

* Krav i Eurokode 6

** Krav i NS-EN 998-2

Tabell 1: Murtørtelkonsistens effekt på sentrale egenskaper til teglmurverk og mørtel

dannet utgangspunkt for prøveprogrammet gjennomført i masteroppgaven. Prøvestykker ble her murt med vanntilsetning som ga konsistens målt med rystebord etter NS-EN 1015-3 på 150 mm (tørr/stiv), 170 mm (middels) og 190 mm (våt).

Stor effekt på bøyestrek- og skjærfasthet

Prøvingen viser at mørtelens vanntilsetning har stor effekt på heften mellom mørtel og stein og dermed på sentrale fasthets-egenskaper. Bøyestrekfastheten er målt 1,6 ganger høyere for våt mørtel enn for tørr/stiv, mens skjærfastheten er hele 7 ganger høyere for den våte mørtelen. Økningen er lineær med

økende vanntilsetning. Det er imidlertid overraskende at resultatene for samtlige mørtelkonsistenser lå under karakteristisk bøyestrekfasthet fra Eurokode 6.

Liten effekt på trykkfasthet

Alle mørtelblandinger (stiv, middels, våt) ga jevnt høy trykkfasthet for murverket og godt over forventet karakteristisk verdi i henhold til Eurokode 6, for valgt kombinasjon av teglstein og mørtel. Høyere vanntilsetning gir markert svakere fasthet for selve murmørtelen, men bedre heft til teglet gjør at trykkfastheten til murverket ikke varierer innenfor den konsistensvariasjonen som er undersøkt.

Stor effekt på regntetthet

Teglforblandinger er robuste vegger, men helt regntette er de ikke. Det er kjent at noe vann vil komme inn gjennom selve teglsteinene, litt mer gjennom mørtelfugene, men mest via heftsonene tegl/mørtel. Prøving i SINTEF sitt slagregnskap viser klar sammenheng mellom mørtelkonsistensen murverket er murt med og regntettheten. Prøvingen viser ti ganger større vanngjennomtrengning for prøvefeltet murt med den tørre/stive mørtelen enn det som er murt med den våte mørtelen.

Anbefaling

Resultatene viser en klar sammenheng mellom mørtelens vanntilsetning og kvaliteten til det ferdige teglmurverket:

Bruk av våt murmørtel gir best heft til teglstein og dermed best bøyestrekfasthet, initialskjærfasthet og regntetthet.

Variasjonen i vannmengde brukt på norske byggeplasser er stor og betydelig med tanke på kvaliteten til herdet teglmurverk. Vi anbefaler en tydeligere angivelse av vanntilsetningen til tørrmørtelen for å sikre jevn og god murkvalitet.

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

F. Slapø¹ and T. Kvande¹

Best med våt murmørtel


Byggeindustrien 8/2017 s 34.

¹Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

www.ntnu.no

Innlegget oppsummerer hovedresultater fra masteroppgaven til Fredrik Slapø. Resultatene fra regnprøvingen av de impregnerte teglfeltene er ikke inkludert for å holde teksten innenfor formatet til «Nytt fra NTNU» serien. Innlegget er skrevet av Fredrik Slapø med veiledning av Tore Kvande.


Fredrik Slapø


Tore Kvande



TEGLMURVERK. Fredrik Slapø forbereder slagregnprøving av teglmurverk. Den mest regntette teglfasaden oppnår du ved muring med våt mørtel. Foto: Geir Mogen.

Best med våt murmørtel

Fredrik Slapø og Tore Kvande
 Institutt for bygg- og miljøteknikk

Når mureren bestemmer konsistensen på murmørtelen, gjøres den etter hans/hennes preferanser. Vanntilsetningen kan derfor variere mellom byggeplasser og mellom murerlag. Masteroppgaven til Fredrik tar utgangspunkt i hans inntrykk fra sju år som praktiserende murer, av at variasjonen i mengde vann som tilsettes tørrmørtel på byggeplass, er stor. Målet med oppgaven er å avdekke om variasjonen i vannmengde har konsekvenser for kvaliteten til ferdig herdet teglmurverk.

Hvorfor våt eller tørr mørtel?

Muring med lite tilsatt vann gir en stiv mørtel som er enklere å mure uten søl, og som dermed reduserer behovet for rengjøring av den ferdige fasaden. En stiv mørtel er også enklere å mure nøyaktig i den forstand at det er vanskelig å trykke mursteinene for langt ned.

Muring med våt mørtel er fysisk lettere for mureren siden den er lettere å hente fra beholderen, lettere å legge ut og lettere å presse

mursteinen ned i. Slik muliggjør våt mørtel raskere fremdrift. Våt mørtel klistrer seg lettere til teglsteinen og kan gi mer søl på murverket. I tillegg kan for rask oppmuring gjøre at vekten gir sammentrykking av nedre skift i murverket før mørtelen har satt seg.

Prøveprogram

Vi ønsket å studere effekten på det i dag mest typiske norske murverket. Derfor valgte vi teglstein Wienerberger Haga ru rød (minuttsug $1,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$) murt med Weber M5. Kvaliteten til herdet teglmurverk (28 døgn) er kontrollert ved prøving av bøyestrekfasthet, initialskjærfasthet, trykkfasthet og regntetthet, og prøving er utført i tilknytning til SFI Klima 2050.

Som et forarbeid til masteroppgaven, ble syv byggeplasser med utvendig teglmuring i Midt-Norge besøkt høsten 2016. Måling av mørtelkonsistens viste store variasjoner, og denne variasjonen ble tatt som utgangspunkt for prøveprogrammet gjennomført i masteroppgaven. Prøvestykker ble her murt med vanntilsetning som

gav konsistens målt med rystebord etter NS-EN 1015-3 på 150mm (tørr/stiv), 170mm (middels) og 190mm (våt).

Stor effekt på bøyestrek- og skjærfasthet

Prøvingen viser at mørtelens vanntilsetning har stor effekt på heften mellom mørtel og stein og dermed på sentrale fasthetsegenskaper. Bøyestrekfastheten er målt 1,6 ganger høyere for våt mørtel enn for tørr/stiv, mens skjærfastheten er hele 7 ganger høyere for den våte mørtelen. Økningen er lineær med økende vanntilsetning.

Liten effekt på trykkfasthet

Alle mørtelblandinger (stiv, middels, våt) gav jevnt høy trykkfasthet for murverket. Høyere vanntilsetning i murmørtelen gir markert svakere fasthet for selve murmørtelen, men bedre heft til teglet gjør at trykkfastheten til murverket ikke varierer innenfor den konsistensvariasjonen vi har sett på.

Stor effekt på regntetthet

Teglmurte forblendinger er robuste

vegger, men helt regntette er de ikke. Fra før vet vi at noe vann vil komme inn gjennom selve teglsteinene, litt mer gjennom mørtel-fugene, men mest via heftsonene tegl/mørtel. Prøving i SINTEF sitt slagregnskap viser klar sammenheng mellom mørtelkonsistensen murverket er murt med og regntettheten. Prøvingen viser 10 ganger større vanngjennomtrenging for prøvefeltet murt med den tørre/stive mørtelen enn den for den våte.

Anbefaling

Vår prøving viser en klar sammenheng mellom mørtelens vanntilsetning og kvaliteten til det ferdige teglmurverket. Bruk av våt mørtel gir best heft til teglstein og dermed best bøyestrekfasthet, initialskjærfasthet og regntetthet.

Variasjonen i vannmengde brukt på norske byggeplasser er stor og betydelig med tanke på kvaliteten til herdet teglmurverk. Vi anbefaler en tydeligere angivelse av vanntilsetningen til tørrmørtelen for å sikre en jevnt god murkvalitet.

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

F. Slapø¹, T. Kvande¹ og N. Bakken²

Bortkastet impregnering mot slagregn

Akseptert for publisering i Byggeindustrien nr. 12.

¹Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

www.ntnu.no

²SINTEF Byggforsk

www.sintef.no

INGRESS: Ulike impregneringsmidler benyttes for å bedre regnmotstandsevnen til teglmurverk, men effekten er sårbar med tanke på riss og andre svakheter i murverket. Forsøk utført i SINTEF sitt slagregnskap viser at ingen av de undersøkte impregneringene fungerte godt selv for rissfritt murverk.

Innlegget oppsummerer hovedresultater fra impregneringsdelen av masteroppgaven til Fredrik Slapø. Impregneringsforsøkene er utført etter initiativ fra Noralf Bakken.

Innlegget er skrevet av Fredrik Slapø, Tore Kvande og Noralf Bakken i samarbeid på initiativ fra Fredrik Slapø.



Fredrik Slapø



Tore Kvande



Noralf Bakken

Bortkastet impregnering mot slagregn



Slagregnprøving av teglfelt før og etter impregnering viser liten effekt av impregneringen på regnmotstandsevnen. Foto: Geir Mogen.

Ulike impregneringsmidler benyttes for å bedre regnmotstandsevnen til teglmurverk, men effekten er sårbar med tanke på riss og andre svakheter i murverket. Forsøk utført i SINTEF sitt slagregnskap viser at ingen av de undersøkte impregneringene fungerte godt selv for rissfritt murverk.

Fredrik Slapø og Tore Kvande
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Noralf Bakken
SINTEF Byggforsk

Teglmurte forblendinger er robuste vegger, men helt regntette er de ikke. Når det regner på en teglfasade vil mesteparten av vannet renne nedover veggens, mens noe vil bli sugd opp av murverket. Avhengig av sugegenskapene til teglet og den håndverksmessige utførelsen, vil noe vann komme inn gjennom selve teglsteinene, litt mer gjennom mørtelfugene og mest via heftsonene tegl/mørtel. For murverk utført etter Byggforskseriens anvisninger er dette fuktoptaket uproblematisk for veggens.

Impregneringsbehov

Riktig utført murverk har i utgangspunktet ikke behov for impregnering for å redusere det kapillære vannopptaket. I spesielle tilfeller kan det forekomme behov for impregnering for de mest sugende tegltypene, spesielt for fasader som er utsatt for slagregn. I slike tilfeller bruker man fargeløse impregneringer med hydrofoberende (vannavstøtende) effekt. Vår erfaring er at også murverk av normalsugende teglstein utsettes for impregnering. Impregneringsproduktene på det norske markedet omfatter silikonater, silaner, siloksaner og vannbaserte nanostrukturerte løsninger.

Slagregnprøving

Slagregnprøving av 1m x 1m store murte teglfelt er gjennomført først uten, deretter med impregnering. Tørketid mellom første regnprøving og impregnering var elleve uker. I alt er fire ulike teglfelt og fire ulike impregneringsprodukter undersøkt. Teglfeltene er murt med teglstein Wienerberger Haga ru rød (minuttsug 1,0 kg/(m²-min)) og murmørtel Weber M5 i tre ulike konsistenser (tørr, middels og våt). Prøving er utført i tilknytning til SFI Klima 2050. Tabell 1 viser forskjellene mellom prøvefeltene og resultater fra slagregnprøvingen.

Utfordrende heftsone mørtel/teglstein

Under oppmuring av teglmurverk vil teglsteinen suge mørtelvann ut av den ferske mørtelen. Mursteinens evne til å oppta vann er derfor en viktig parameter siden grunnlaget for heftfastheten i det herdede murverket etableres i løpet av de første minuttene kontakt mellom stein og fersk mørtel. Figur 1 viser mikroskopifoto av heftsone i teglfelt C. Vi ser her konsentrasjon av store luftporer i heftsonen mellom teglstein og murmørtel. Den grove porestrukturen viser seg å være utfordrende for impregneringsmidlenes evne til å gjøre murverket vannavvisende.

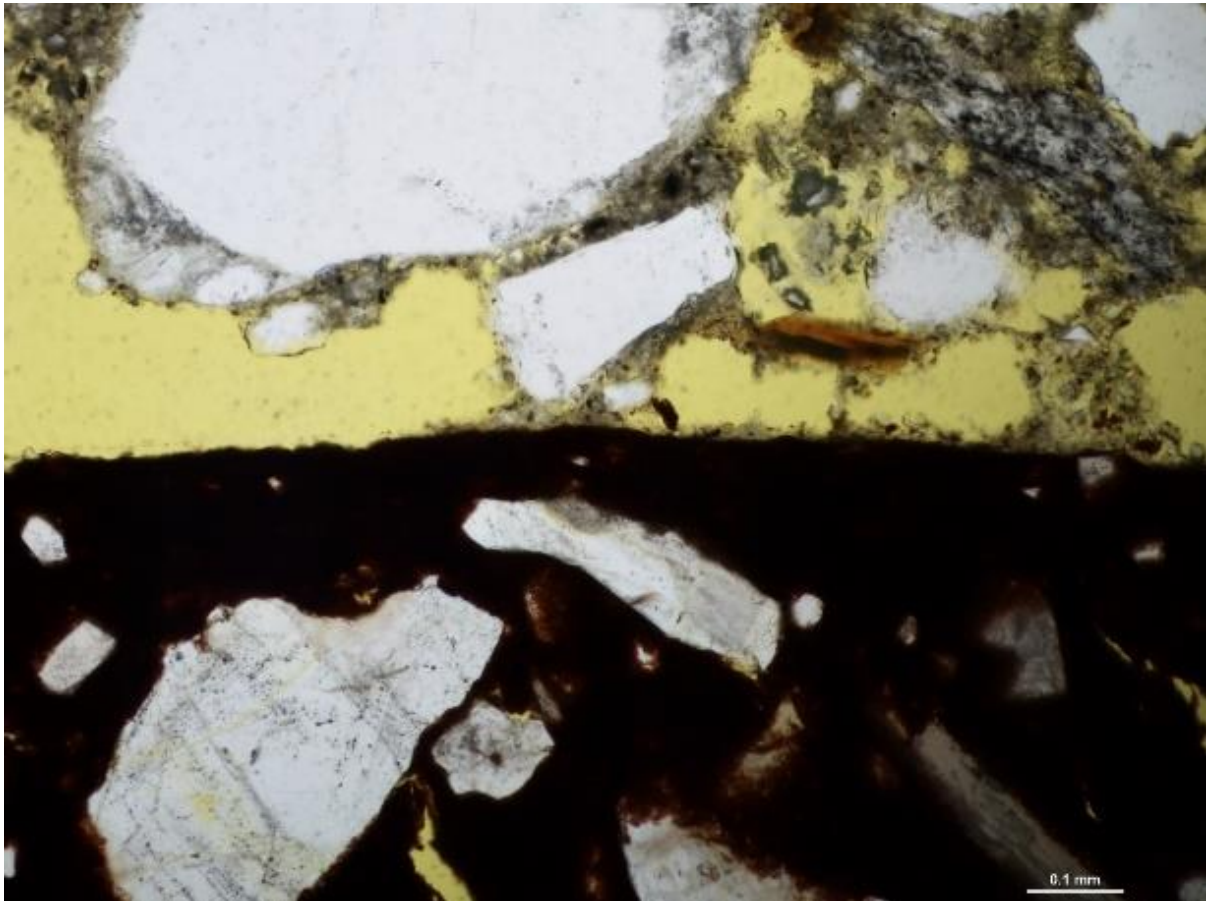
Anbefalinger

Vår prøving viser at vi skal være skeptiske til impregneringenes effekt til å stanse regninntrenging i teglmurverk. Impregneringen vil bremse fuktopptaket for korte regnbyger, men den beskytter ikke mot langvarig slagregn. Det ble også observert skjemmende rustbrune utfellingene på feltene med flere av impregneringsmidlene. Vi ønsker å gjennomføre supplerende forsøk for å se effekten av mindre tøffe regnhendelser enn den vi har studert.

Tabell 1. Murmørtelkonsistens ved oppmuring, type impregneringsmiddel og regnmotstandsevne uttrykt ved fuktgjennomtrengning.

Egenskap	Prøve-standard	Måle-enhet	Teglfelt			
			A Tørr	B Middels	C Våt	D ¹ Våt
Fersk mørtelkonsistens (rystebord)	NS-EN 1015-3	mm	135	174	186	186
Impregneringsmiddel	-	-	Silikon	Silan	Siloksan	Nano
Andel av baksiden som fremdeles er tørr etter 15 min. med slagregn	NBI 29/1983	% tørr				
- Uimpregnerte felt			90	90	95	80
- Impregnerte felt			90	90	100	95
Regngjennomtrengning:	NBI 29/1983	l/(h·m ²)				
- Uimpregnerte felt			1,14	0,97	0,14	0,67
- Impregnerte felt			1,13	1,38	0,06	0,50

- 1) Felt D er murt ved å skyve stussfugen i motsetning til de øvrige feltene som er murt ved å slå stuss (å legge mørtel på enden av steinen før muring).



Figur 1. Tynnslipanalyse av heftsone mellom teglstein (nedre mørke del) og murmørtel. Gule felt markerer luftporer. Analyse og foto: Marit Haugen, SINTEF Byggeforsk.