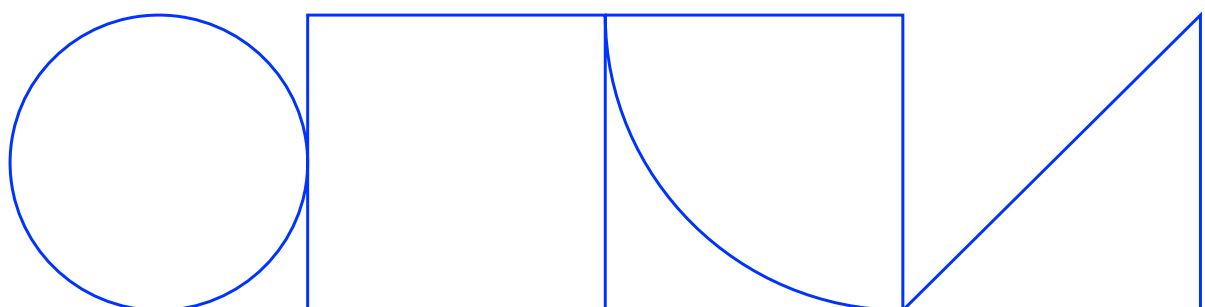
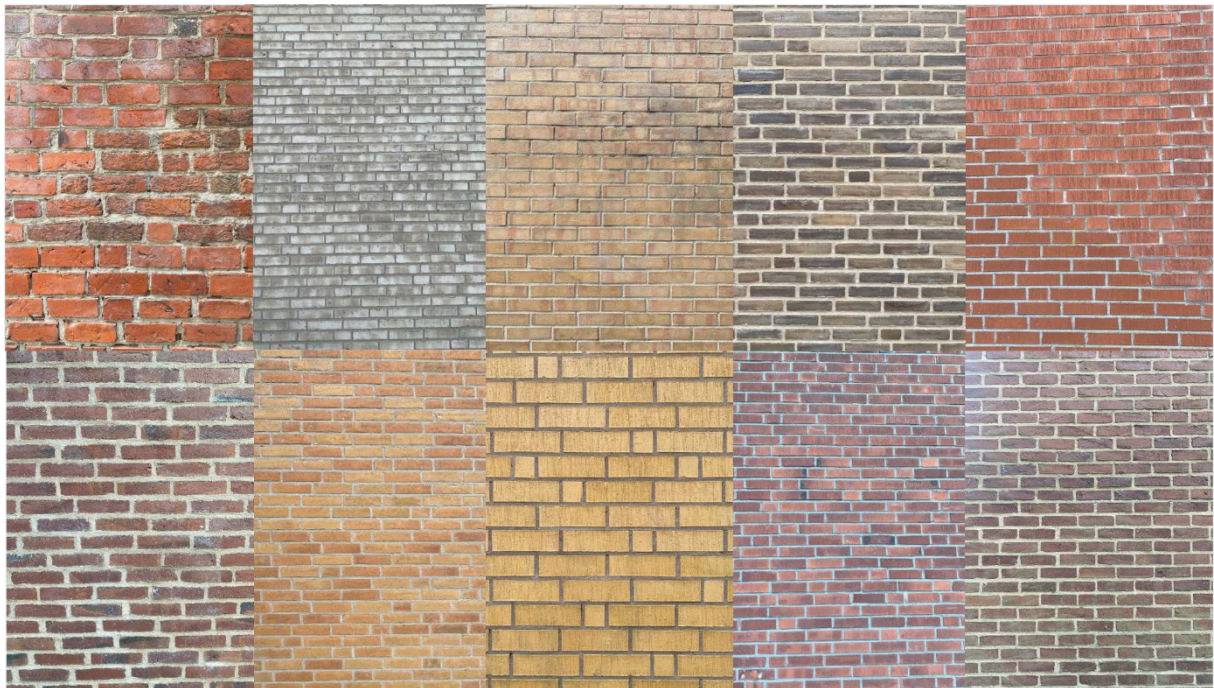


Rationellt och relevant underhåll av tegelfasader

Sammanfattning

Mohammad Kahangi och Miklós Molnár
Lunds tekniska högskola

2024 - 10-07



Förord

Projektet genomfördes under perioden september 2019 – september 2024 av doktoranden Mohammad Kahangi, fullständigt namn Seyedmohammad Kahangi Shahreza, vid Lunds tekniska högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik. Projektets genomförande och resultat redovisas i sin helhet i Mohammad Kahangis doktorsavhandling [1] med titel

“Water Penetration in Solid Clay Brick Masonry and its Mitigation by Repointing”.

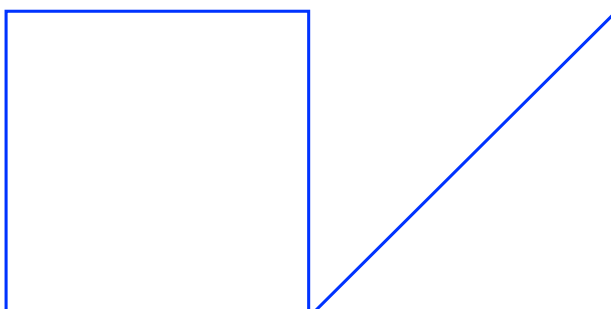
Huvudhandledare, tillika projektledare för projektet har varit docent Miklós Molnár, universitetslektor vid LTH Konstruktionsteknik. Dr. Jonas Niklewski, Dr. Ívar Björnsson och Dr. Akram Abdul Hamid alla från LTH, har, tillsammans med teknologie licentiat Tomas Gustavsson, från konsultfirman Tomas Gustavsson konstruktioner AB, varit biträdande handledare.

Doktorandprojektet finansierades av SBUF samt Föreningen Tungt Murat och Putsat Byggande. Författarna tackar finansiärerna för deras stöd. Författarna tackar även medlemmarna i projektets styr - och referensgrupp för deras aktiva intresse och stöttning i form av delning av erfarenheter, underlättande av studiebesök, leveranser av material samt hjälp med skickliga murare.

Författarna tackar också laboratorieteknikerna Per -Olof Rosenkvist, Martin Gunder och Stefan Backe för praktisk hjälp med utveckling av försöksuppställningen.

Huvudförfattarna till denna slutrapport är Mohammad Kahangi och Miklós Molnár.

Lund, den 7 oktober 2024



Sammanfattning

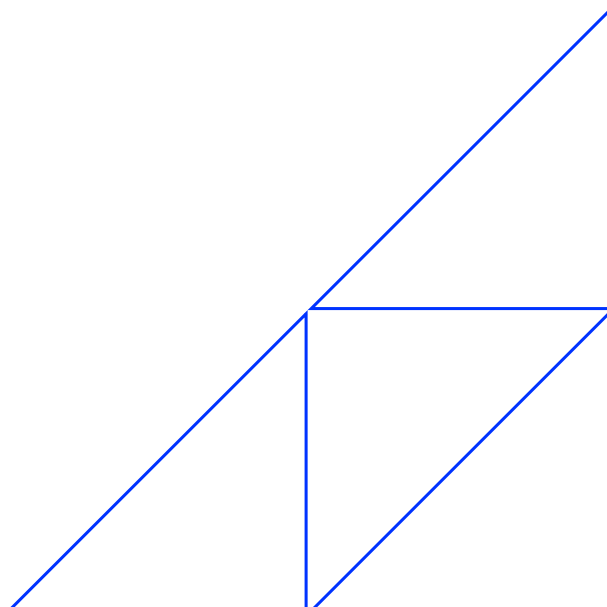
Tegelfasader är ofta förknippade med långsiktig beständighet och estetiskt tilltalande åldrande. De erbjuder även högt motstånd mot slagregn, som är en av de vanligaste fuktkällorna i fasader i norra Europa.

Genom relevant underhåll kan tegelfasader få en livslängd som ofta överstiger 100 år. I en murverkskonstruktion är fogarna en svagare komponent än murstenen. Genom att utföra omfogning när fogarna eroderats kan tegelfasaders livslängd förlängas. Normalt innebär omfogning att man avlägsnar de yttersta 25 millimetrarna, varefter man återfyller med murbruk. Ett vanligt argument i sammanhanget är att fogerosion medför förhöjd vattenupptagning från slagregn. Även risken för regngennomslag anses kunna öka under nämnda förhållanden.

Syftet med doktorandprojektet har varit att ta fram rationellt underlag för omfogning av tegelfasader. Målsättningen har varit att genom främst experimentella studier klarlägga beteendet hos vattenbesprutat tegelmurverk avseende vattenupptagning och vattenläckage.

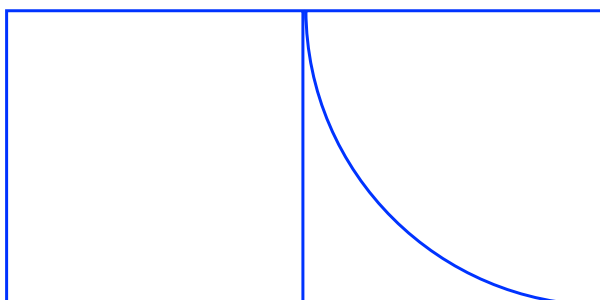
Resultaten av vattenbesprutningsförsöken pekar mot att läckage inträffar först när murverket uppnår en fuktkvot motsvarande cirka 90 procent av vattenmättnad. Sprucket murverk har lägre motstånd mot regngennomslag. Omfogning har en tydlig positiv effekt när det gäller att begränsa läckage i vattenbesprutat tegelmurverk.

Omfogningens positiva effekter är särskilt tydliga när tegelfasaden innehåller större sprickor eller uppvisar tecken på bristfälligt hantverk. De positiva effekterna är tydligast i fasader utsatta för stora mängder slagregn.



Innehåll

1. Bakgrund	4
2. Syfte	4
3. Metodik	4
3.1 Experimentella undersökningar	4
3.2 Litteraturstudier	6
3.3 Fuktberäkningar	6
4. Utförda studier och viktiga resultat	6
4.1 Vattenupptagning i besprutat murverk	6
4.2 Vattenläckage	6
4.3 Vattenupptagning och vattenläckage i sprucket murverk	7
4.4 Omfogningens effekt på vattenupptagning och vattenläckage	7
4.5 Analys av omfogningens effekter i form av minskade fuktrisker	7
4.6 Metoder för tillståndsbedömning av tegelfasader	7
5. Slutsatser	8
Litteraturförteckning	8



1. Bakgrund

Tegelfasader kännetecknas av mycket lång livslängd. Exponering mot klimatfaktorer som slagregn, frost och temperaturvariationer medför dock att främst murfogarna eroderas över tid. Kraftigt eroderade fogar uppfattas ofta som förfulande, samtidigt som det finns en uppfattning att fogerosion medför förhöjd vattenupptagning och ökad risk för regngenomslag. Som åtgärd genomförs omfogning, vilket innebär att fogens yttre del, cirka 25 millimeter, fräses bort, varefter utrymmet fylls med nytt murbruk, se Bild 1.



Bild 1. Tegelfasad från 1950-talet; före (vänster), under (mitten) och efter (höger) omfogning.

Beslut om omfogning baseras ofta på generella mallar, utan hänsyn till det aktuella behovet. Detta kan medföra onödigt stora utgifter samtidigt som omfogning är ett slitsamt arbete. Det uppskattas att man i Sverige under en tioårsperiod lägger 6 miljarder kronor på omfogning av tegelfasader.

2. Syfte

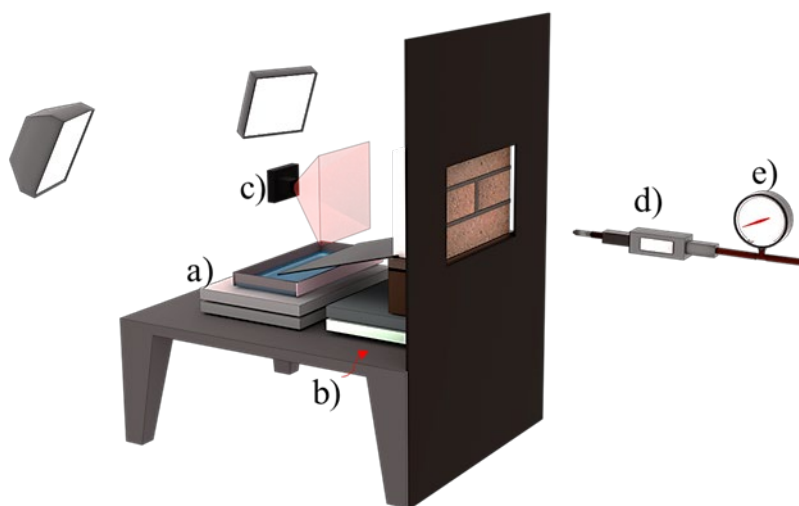
Syftet med projektet var att ta fram rationellt underlag för omfogning av tegelfasader. Målsättningen har varit att genom främst experimentella studier klarlägga beteendet hos slagregnsutsatt tegelmurverk avseende vattenupptagning och regngenomslag. Ytterligare målsättningar har varit att identifiera metoder för bedömning av tegelmurverks tillstånd i samband med beslut om omfogning samt att visa på tillvägagångssätt för att analysera de förväntade effekterna av en omfogning på minskning av fuktrelaterade risker i ytterväggar med yttre skal av tegel.

3. Metodik

3.1 Experimentella undersökningar

Inom doktorandprojektet har ett nytt försöksupplägg utvecklats för att i labbmiljö studera vattenupptagning i och vattenläckage genom tegelmurverk. En viktig aspekt i samband med den experimentella utvecklingen har varit möjligheten att bespruta

murverket med en regnliknande droppsvärm av varierande intensitet, under kontinuerlig mätning av både vattenupptagning och läckage. Schematisk skiss av försöksuppställningen visas i Figur 1 medan provkropparna i Figur 2. Uppkomst av fuktfläckar på provkropparnas skyddade sida registrerades genom fotografering varannan minut. Totalt genomfördes cirka 350 vattenbesprutningsförsök, där varje försök pågick i 23 timmar.



Figur 1 Försöksuppställning för simulering av slagregn i labbmiljö. Förklaring: a) våg som mäter läckage; b) våg som mäter vattenupptagning; c) kamera som registrerar fuktfläckar; d) vattenflödesmätare; e) vattentrycksregulator



Figur 2 Provkroppar som användes i vattenbesprutningsförsöken

3.2 Litteraturstudier

Målsättningen med litteraturstudien har varit att identifiera metoder för tillståndsbedömning av tegelmurverk. Fokus var på metoder som möjliggör fältmässig bedömning av tillståndet avseende fukttinnehåll och vattenupptagningssegenskaper. Kunskap om den senare kan användas till rationellt val av omfogningsbruk och beslut om eventuell förvattning av fasaden före omfogning.

3.3 Fukt beräkningar

Resultaten från försöken har använts i fuktberäkningar, med syfte att visa på fall då omfogning kan påverka risken för fuktproblem i byggnadsskalet. Beräkningarna genomfördes med hjälp av simuleringsverktygen WUFI Pro och WUFI 2D.

4. Utförda studier och viktiga resultat

4.1 Vattenupptagning i besprutat murverk

Murverksprovkroppar besprutades med en regnliknande droppsvärm, med intensitet som motsvarar medelintensiva till intensiva slagregn under svenska förhållanden. Vattenupptagningen påverkas främst av besprutningens intensitet, murverkets absorptionsegenskaper samt dess vattenmagasineringsförmåga. Indragna fogar, föreställande fogerosion, har ingen påvisbar effekt – detta så länge det handlar om en indragning/erosion på 5 - 6 millimeter. Fuktfläckar uppkommer först i närheten av stötfogarna (de vertikala fogarna). Undersökningen redovisas i detalj i [3].

4.2 Vattenläckage

För att studera vattenläckage genom murverk, användes samma procedur som i avsnitt 4.1, den här gången med något högre besprutningsintensitet. Läckaget startar när murverket är i närheten av vattenmättnad; för de studerade murverken vid cirka 90 procents vattenmättnadsnivå. När läckaget väl startar, fortsätter det med samma intensitet. Det mesta av läckaget äger rum i närheten av stötfogarna, vilket beror på att det här ofta finns glipor och håligheter, se Bild 2. Tidig uppkomst av fuktfläckar medför inte med automatik att läckagets intensitet blir hög. Undersökningen redovisas i detalj i [4].

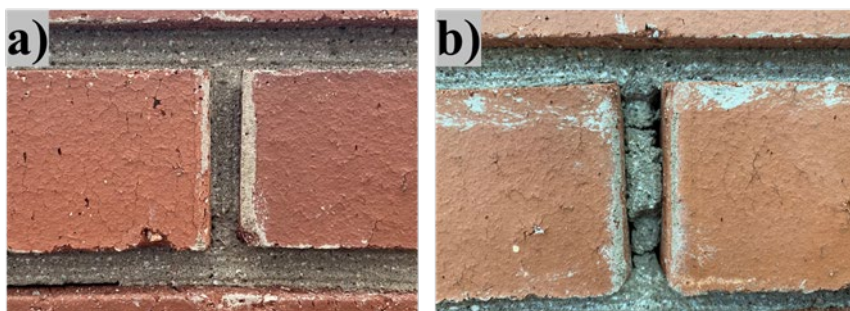


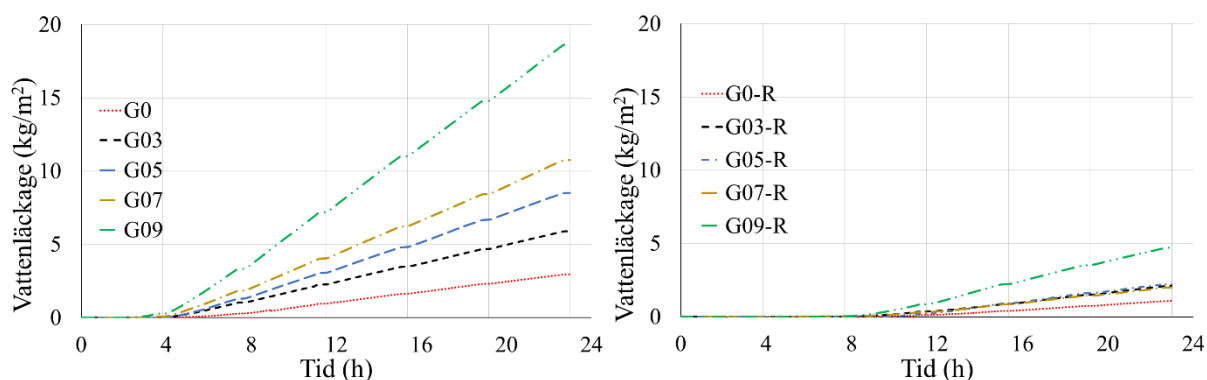
Bild 2 Stötfogar med god (vänster) och bristfällig utfyllnad (höger).

4.3 Vattenupptagning och vattenläckage i sprucket murverk

För att studera vattenläckage genom murverk med sprickor, användes samma procedur som i avsnitt 4.2. Sprickan skapades på konstgjord väg, i liggfog. In närvaro av sprickor, sker vattenupptagning snabbare än i murverk utan kända sprickor. Även vattenläckaget startar snabbare. Vattenläckagets intensitet påverkas av sprickvidden, efter principen ju större sprickvidd desto högre intensitet på läckaget. Undersökningen redovisas i detalj i [5].

4.4 Omfogningens effekt på vattenupptagning och vattenläckage

Provkropparna som studerades i avsnitt 4.3 omfogades, varefter de utsattes för samma typ av vattenbesprutning som i avsnitt 4.3. Omfogning fördröjer vattenupptagning i murverk, oavsett om det innehåller någon spricka eller inte. Omfogning medför en minskning av vattenläckagets intensitet med minst 50 procent, oavsett om murverket innehåller någon spricka eller inte. Ju större sprickvidd, desto större procentuell minskning av vattenläckagets intensitet. Minskningen av vattenläckagets intensitet på grund av omfogning visas i Figur 3. Undersökningen redovisas i detalj i [5].



Figur 3. Vattenläckagets intensitet före (vänster) och efter omfogning (höger) – medelvärden av 10 provkroppar. Förklaring: G0 – provkroppar utan känd spricka; G03 – G09 - provkroppar med artificiell spricka med vidden 0,3 – 0,9 millimeter.

4.5 Analys av omfogningens effekter i form av minskade fuktrisker

Resultaten från de experimentella undersökningarna har använts i fuktberäkningar, med syfte att visa på fall då omfogning kan påverka risken för fuktproblem i byggnadsskalet. Beräkningarna visar att omfogning påtagligt kan minska risken för mögelangrepp i ytterväggar bestående av tegelskalmurar med bakomliggande träväggar eller fuktigheten i bakmurar av lättbetong. Omfogningens positiva effekter är särskilt tydliga när tegelskalmuren innehåller större sprickor eller uppvisar tecken på bristfälligt hantverk. De positiva effekterna är tydligast i väggar utsatta för stora mängder slagregn. Analyserna redovisas i detalj i [6].

4.6 Metoder för tillståndsbedömning av tegelfasader

Två metoder identifierades som praktiskt och kostnadsmissigt lämpliga i vanliga projekt – det så kallade RILEM tube samt Franke Platte. Utbudet av mer avancerade

undersökningsmetoder är stort, samtidigt som deras användbarhet är mer begränsad på grund av höga kostnader, för både utrustningen och undersökningen. Resultaten redovisas i detalj i [2].

5. Slutsatser

Slutsatser av vetenskaplig relevans:

1. Vattenläckage startar när murverket är i närheten av vattenmättnad; i studierna i det här projektet vid cirka 90 procents vattenmättnad.
2. Uppkomst av fuktfläckar på murverkets skyddade sida och vattenläckagets intensitet är inte kopplade till varandra. Den förra styrs av kapillär transport, den senare av vattenströmning i mättat tillstånd.
3. Resultaten avseende vattenläckagets start (se pkt 1.) pekar på att dagens praxis, nämligen att anta att cirka 1 procent av slagregnet läcker igenom skalmuren, bort ändras. Tegelmurverkets buffringskapacitet fördröjer regngennomslag i icke vattenmättat murverk.

Slutsatser av praktisk relevans:

4. Måttligt eroderade murfogar (erosionsdjup mindre än 5 - 6 millimeter) medför varken förhöjd vattenupptagning eller förhöjt regngennomslag.
5. Tegelmurverk har en betydande förmåga att buffra slagregn, vilket fördröjer regngennomslag.
6. Omfogning fördröjer vattenupptagning och minskar regngennomslagets intensitet, speciellt i murverk med sprickor.
7. Eftersom läckaget är störst vid stötfogar, bör omfogning av dessa göras särskilt noggrant.
8. Förutsättningar för regngennomslag genom tegelskalmurar finns främst under det kalla halvåret, eftersom uttorkningen under den här perioden är långsam.
9. I massiva tegelväggar förekommer normalt inte något regngennomslag.

Litteraturförteckning

Inom ramen för doktorandprojektet, har publicerats:

- Vetenskapliga tidskriftsartiklar – 5 stycken
- Konferensartiklar – 4 stycken
- Populärvetenskapliga artiklar – 3 stycken

Nerlagt arbete har dessutom dokumenterats i:

- Doktorsavhandling - försvarades 2024-09-13
- Licentiatrapport – presenterades hösten 2021

- [1] **Kahangi, M.** - *Water Penetration in Solid Clay Brick Masonry and its Mitigation by Repointing*. Doktorsavhandling, Rapport TVBK -1059, Lunds tekniska högskola, ISBN 978-91-8104-063-0 (elektronisk), försvarad 2024 -09-13.
- [2] **Kahangi Shahreza, S.**, Niklewski, J., Molnár, M. & Gustavsson, T. - *Making decision on repointing of clay brick facades on the basis of moisture content and water absorption tests results – a review of assessment methods*. Proceedings of the 17th International Brick/Block Masonry Conference (17th IB2MaC 2020), July 5 -8, 2020, Kraków, Poland. doi: <http://dx.doi.org/10.1201/9781003098508-86>.
- [3] **Kahangi Shahreza, S.**, Niklewski, J., Molnár, M. (2021) - *Experimental investigation of water absorption and penetration in clay brick masonry under simulated uniform water spray exposure*. Journal of Building Engineering. 43, p. 102583, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102583>.
- [4] **Kahangi Shahreza, S.**, Niklewski, J., Molnár, M. (2022) - *Novel water penetration criterion for clay brick masonry cladding*. Construction and Building Materials. 353, 129109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129109>.
- [5] **Kahangi Shahreza, S.** (2024) - *Water penetration in cracked clay brick masonry before and after repointing*. Construction and Building Materials. 420, 135631. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135631>.
- [6] **Kahangi Shahreza, S.**, Bayat Pour, M., & Abdul Hamid, A., (2024) - *Towards rational decision -making on repointing to mitigate moisture damage in building envelopes: a probabilistic study*. Developments in the Built Environment. 19, 100510. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100510>.