

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH—21/5114—SE(82)
Lund 2021

Fuktbetingade rörelser och sprickbildning i fibercementskivor

- Utredning av skador på fasadskivor

Eric Svenmyr
Olof Wadsö



LUNDS
UNIVERSITET

Fuktbetingade rörelser och sprickbildning i
fibercementskivor
Utredning av skador på fasadskivor

Eric Svenmyr
Olof Wadsö

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Eric Svenmyr och Olof Wadsö

ISRN LUTVDG/TVBH—21/5114—SE(82)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Sammanfattning

Titel: Fuktbetingade rörelser och sprickbildning i fibercementskivor

Författare: Eric Svenmyr och Olof Wadsö

Handledare: Magnus Åhs, Institutionen för Bygg och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsmaterial

Examinator: Petter Wallentén, Institutionen för Bygg och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik

På senare tid har det påträffats olika typer av skador på fibercementskivor monterade i fasader som har varit svåra att härleda till en specifik orsak. Den främsta skadan som uppkommit är sprickbildning men det har även påträffats andra defekter så som utbuktande skivor. Dessa skador har i flera fall härletts till handhavandefel vid montage men fukt-och temperaturbetingade rörelser tros även vara en bidragande faktor. Det är således av intresse att undersöka och kartlägga vilka faktorer som kan ligga till grund för en eventuell skada. Utifrån dessa faktorer kan konkreta förslag ges på åtgärder som kan vidtas för att undvika skador. Detta kommer förhoppningsvis bidra till att färre skador uppstår och att skivornas livslängd ökar, vilket resulterar i färre onödiga kostnader.

Utifrån examensarbetets syfte och målsättning har en litteraturstudie genomförts för att erhålla bättre kunskap kring ämnet. Genom att intervjua leverantörer och entreprenörer har faktorer sammanställts för att kunna identifiera potentiella orsaker till skador. Intervjuszvaren visar att leverantörer och entreprenörer delar uppfattning om att det finns antal problem kopplade till fibercementskivor, men att det råder delade meningar kring uppkomsten av problemen. Baserat på insamlade data från intervjuer har fukt-simuleringar utförts för en typisk ytterväggskonstruktion. De simuleringar som genomförts visar att skivorna kan utsättas för dragspänningar om de monteras fuktiga eller om de monteras med för små toleranser.

Slutsatsen som kan dras utifrån simuleringarna är att de fuktbetingade rörelser som uppstår, under normala förhållanden för korrekt monterade fibercementskivor, ej är av den storleken att sprickbildning borde uppstå. Förutsatt att skivorna monterats felaktigt finns det dock ett par faktorer som identifierades i arbetet som kan bidra till sprickbildning. Det finns en tendens till att skivornas infästningar placeras med ett för litet kantavstånd än vad som föreskrivs. Vidare så bör infästningarnas centrering beaktas noga för att skivornas rörelse inte skall förhindras. Detta på grund av att skivornas rörelsetolerans delvis eller helt försvinner om infästningens placering inte blir centrisk. Hur skivan monteras föreskrivs i monteringsanvisningarna och kan uppfattas som komplicerad. Det tyder på att monteringsanvisningarna kan bli tydligare och enklare för att minimera risken för handhavandefel. En ökad erfarenhetsåterföring och utökad testning av fasadsystemet skulle kunna leda till större kunskap kring uppkomna skador.

Nyckelord: fasadskiva, fibercementskiva, sprickbildning, fuktrörelser, fukthalt, välvning

Abstract

Recently, various types of damages have been found on fibre cement boards mounted in facades which have been difficult to trace to a specific cause. The main damage that has occurred is cracking but other defects have also been found, such as bulging boards. These damages have in several cases been attributed to handling errors during assembly, but moisture and temperature-related movements are also believed to be a contributing factor. Therefore, it is of interest to investigate and map out what factors that may lead to a potential damage. Based on these factors, concrete proposals can be made for measures that can be taken to avoid injuries. This will hopefully help to reduce the number of damages and increase the service life of the boards, resulting in fewer unnecessary costs.

Based on the purpose and objectives of the study, a literature study has been conducted to obtain better knowledge about the subject. By interviewing suppliers and contractors, factors have been compiled to be able to identify potential causes of damage. The results from the interviews show that suppliers and contractors share the same opinion on several problems linked to fibre cement boards, but that there are different opinions about the origin of the problems. In addition to collecting data from interviews, moisture simulations have been performed for a typical exterior wall construction. The simulations carried out show that the boards can be subjected to tensile stresses if they are mounted damp or if they are mounted with too small tolerances.

The conclusion that can be drawn from the simulations is that the moisture-related movements that occur, under normal conditions for correctly mounted fiber cement boards, are not of the magnitude that cracking will occur. Assuming that the boards are mounted incorrectly, there are a couple of factors that were identified in the study that can contribute to cracking. There is a tendency for the boards attachments to be placed with a smaller distance to the edge than is prescribed. Further, the centering of the attachments should be carefully considered so that the movement of the discs is not prevented. This is because the movement tolerance of the discs partially or completely disappears if the attachment is not mounted centric. How the disc is mounted is prescribed in the mounting instructions and it can be perceived as complicated. This indicates that the instructions can be clearer and simpler to minimize the risk of handling errors. An increased feedback of experience and extended testing of the facade system could lead to greater knowledge about the damage that has occurred.

Keywords: facade board, fibre cement board, cracking, moisture movements, moisture content, bulging

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen i vår civilingenjörsutbildning Väg- och vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola.

Examensarbetet har genomförts under våren 2021 med handledning från avdelningen Byggnadsmaterial och Skanska Teknik Malmö. Våra handledare har varit Magnus Åhs, universitetslektor på avdelningen Byggnadsmaterial LTH samt Christian Danås, Skanska Teknik Malmö. Examinator för examensarbetet har varit Petter Wallentén, universitetslektor på avdelningen Byggnadsfysik LTH.

Vi vill rikta ett stort tack till Magnus Åhs som givit oss handledning, tid för frågor och engagemang samt Petter Wallentén som visat stort intresse för vårt arbete och varit tillgänglig för frågor under arbetets gång.

Slutligen, tack till Christian Danås och hans kollegor på Skanska Teknik Malmö för ett stort engagemang och vilja att hjälpa oss producera ett välarbetat arbete.

Alla bilder och figurer i rapporten är skapade av författarna om inget annat anges.

Eric Svenmyr och Olof Wadsö, juni 2021

Definitioner och beteckningar

Buckling – En strukturell förändring av ett slankt föremål som utsätts för en så stor axiell tryckkraft att det resulterar i en kollaps.

Buktning - Beskrivning av ett föremåls bågformade utseende.

CE – En märkning som intygar att produkten uppfyller EU:s hälso-, miljö-, och säkerhetskrav.

Hygrotermisk – Ett fysikaliskt förlopp där fukt och värme samspelar.

Ångpermeabilitet - Hur genomträngligt ett material är för vattenånga.

Polymer – Ett syntetiskt eller naturligt ämne som är uppbyggt av ett stort antal små enheter.

Utfackningsvägg - En del av ytterväggskonstruktionen som inte bär vertikala laster utan enbart tar upp vindlast och egenvikt.

Välvning - Ett fenomen som kan uppstå vid betydande skillnader i relativ fuktighet mellan de olika sidorna av ett skivmaterial.

Ytfinhet - Hur mycket ett materials yta skiljer sig från en ideal slät yta med avseende på jämnhet och struktur.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Syfte & mål.....	2
1.2	Problemformulering	2
1.3	Metod.....	2
1.4	Avgränsningar	3
2	Teori	5
2.1	Fukt i luft	5
2.2	Fukt i material.....	6
2.2.1	Adsorption	7
2.2.2	Kapillärkondensation.....	8
2.2.3	Sorptionsisoterm.....	8
2.2.4	Byggfukt	10
2.3	Materialstruktur	10
2.4	Materialegenskaper.....	12
2.4.1	Klassificering av fibercementskivor	13
2.5	Volymbeständighet.....	14
2.6	Hållfasthet och deformation	19
2.6.1	Sprickbildning	21
2.6.2	Buckling	22
2.6.3	Välvning	22
2.7	Åldersbeständighet	23
2.7.1	Fysikaliskt angrepp.....	23
2.7.2	Kemiskt angrepp.....	24
3	Ytterväggskonstruktion	25
3.1	Yttre skikt	25
3.2	Läktsystem.....	25
3.3	Stomme.....	28
4	Metod.....	29
4.1	Intervjuer	29
4.2	Modellering	29
5	Resultat och analys	39
5.1	Sammanställning av intervjuer	39
5.1.1	Leverantörer.....	39
5.1.2	Entreprenörer	41
5.2	Sammanställning av modellering	43
5.2.1	Resultat från modellering	47
6	Diskussion	49
6.1	Diskussion intervjuer.....	49
6.2	Diskussion modellering	50
6.3	Felkällor och begränsningar	51
7	Slutsats.....	53
8	Vidare studier	55
	Referenser.....	57
	Bilagor	60

1 Introduktion

Fibercementskivor har blivit ett populärt byggmaterial de senaste åren för användning som fasadskivor, vindsskyddsskivor och byggskivor. Fasadskivor utsätts för stora variationer av relativ fuktighet och temperaturer på grund av dess utsatta läge. Det förekommer således fukt- och temperaturbetingade rörelser i skivorna. Då rörelserna blir för stora, i kombination med att skivorna är förhindrade från att röra sig, kan drag- och tryckspänningar uppstå. Tillräckligt stora spänningar tros ge upphov till sprickbildning.

Efter samtal med Skanska Teknik har det framkommit att skador förekommit på fibercementskivor. Skadorna kan se olika ut, varvid ett exempel är sprickbildning i hörn, se Figur 1, och buktande fibercementskivor. Skadorna som påträffats har uppstått efter olika lång tid och har i flera fall härletts till handhavandefel av entreprenören.

Dokumentation av skadade fibercementskivor hos leverantörer och entreprenörer är begränsad. Det beror på att skadorna som uppkommit sällan utreds av entreprenören. Mycket tyder dock på att det inte bara är handhavandefel som orsakar skadorna utan att det även finns andra faktorer som bidrar till skadornas uppkomst.



Figur 1. Sprickbildning i hörn av fibercementskiva där en del av skivan lossnat (Jönsson & Remnetorp, 2019).

1.1 Syfte & mål

Syftet med arbetet är att öka kunskapen kring hur monterade fibercementskivor beter sig när de utsätts för utomhusklimat. Detta kan förhoppningsvis bidra till att färre skador uppstår och att skivornas livslängd ökar.

Målet med arbetet är att kartlägga vilka faktorer som orsakar skador på fibercementskivor monterade i fasad. Genom att kartlägga dessa kan konkreta förslag ges på åtgärder som kan vidtas för att undvika rörelsebetingade skador.

Resultatet kommer förhoppningsvis bidra till att entreprenörerna får en bättre förståelse för hur skivorna beter sig. Dessutom kommer leverantörerna få en bättre insikt i hur entreprenörerna ställer sig till produkten. Det kan i sin tur bidra till en positiv inverkan på marknaden och för produktens utveckling.

1.2 Problemformulering

Orsaken till att skador uppstår på fibercementskivor är inte klarlagd och det råder en stor osäkerhet till varför de uppstår. Problematiken tycks vara komplex eftersom det inte gått att fastställa skadeorsaken då många faktorer spelar in. Mycket tyder på att den mest kritiska skadan, sprickbildning, uppstår på grund av fukt- och temperaturbetingade rörelser. Det är anledningen till att följande frågeställningar har valts att försöka besvaras:

- Vilka faktorer kan bidra till sprickbildning?
- Hur stor inverkan har fuktbetingade rörelser på fibercementskivor?
- Vilka ytterligare faktorer kan orsaka skador på fibercementskivor monterad i fasad?

1.3 Metod

Arbetet är en teoretisk studie bestående av intervjuer och modellering till baserat på en litteraturstudie. Befintlig skadedokumentation är begränsad hos leverantörer och entreprenörer vilket innebär att data samlats in via intervjuer med 3 leverantörer och 3 entreprenörer. På så vis skapas en uppfattning för skadornas omfattning och av vilka faktorer som är av störst vikt att undersöka. Intervjuerna kompletteras med en modellering av en typkonstruktion för att undersöka några av de faktorer som identifierats under intervjuerna. Utifrån resultatet från modelleringen beräknas de rörelsetoleranser som uppstår i skivan under de givna förhållandena som föreligger under simuleringarna. Detta för att få en uppfattning för om rörelsetoleransen som föreskrivs i monteringsanvisningarna är tillräcklig för att skivorna under krympning ej skall stöta samman med infästningen. Resultatet från intervjuer analyseras och skadeorsakernas rimlighet redogörs. Vidare så används resultatet från intervjuerna respektive modelleringen för att upprätta en slutsats. Till sist redovisas ett antal vidare studier som kan vara lämpliga att genomföra för att öka förståelsen kring skivorna ytterligare.

1.4 Avgränsningar

Materialet fibercement är ett material vars materialsammansättning kan variera, dock förblir materialegenskaperna relativt lika. Därav avgränsas arbetet till ett fåtal fibercementskivor som använts av de entreprenörer som kontaktats. De skivor som jämförs i arbetet uppfyller klass A enligt SS-EN 12467:2012+A2:2018 men kan skilja sig åt något i tillverkningsmetod och innehåll (SIS, 2018).

Arbetet syftar till att undersöka problematik kopplat till fibercementskivor i allmänhet och ej en specifik leverantörs produkter eller ett specifikt projekt. Av denna anledning har två skivor valts som är vanligt förekommande på marknaden. Vidare så har data från intervjuer anonymiserats så att personer och företag ej skall kunna identifieras.

De val och avgränsningar som görs i WUFI under modelleringen beskrivs detaljerat i kapitel 4.2. Resultaten kan skilja sig något från verkligheten, men programmet anses vara tillräckligt pålitligt för att påvisa det som undersöks i arbetet. Programmets funktion är även validerat och anses vara tillförlitligt (Mundt-Petersen, 2015; Mundt-Petersen & Harderup, 2013).

I modelleringen har fibercementskivor med mörk kulör fokuserats på, eftersom fler skadefall påträffats för dessa. Detta beror på att dessa skivor får en högre temperatur än ljusare skivor vilket resulterar i en kraftigare uttorkning.

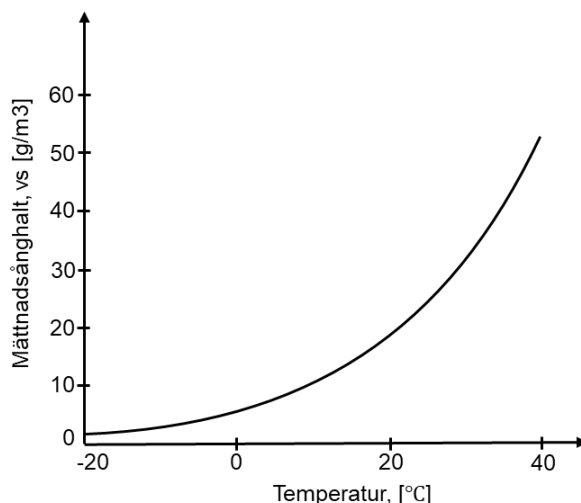
Beräkningar avseende spänningens storlek görs ej. För att erhålla trovärdiga resultat gällande uppstådd spänning anses vidare testning behöva göras. Se vidare studier för förslag på tester som kan genomföras.

Arbetet syftar till att undersöka vilka problemfaktorer som kan leda till skador snarare än att undersöka i detalj vilka spänningar som leder till skador. Därav genomförs inga beräkningar avseende spänningens storlek. För att ta reda på vilka spänningar som uppstår bör vidare studier göras, se kapitel 8.

2 Teori

2.1 Fukt i luft

Fukt finns alltid i luften i form av vattenånga och den mängd vattenånga som finns anges som ånghalt, v [kg/m^3]. Luften kan bara bära en viss mängd fukt, vilket är definierat som mättnadsånghalt, v_s [kg/m^3]. Mättnadsånghalten är temperaturberoende och ju högre temperatur luften har, ju mer fukt kan den bära, se Figur 2.

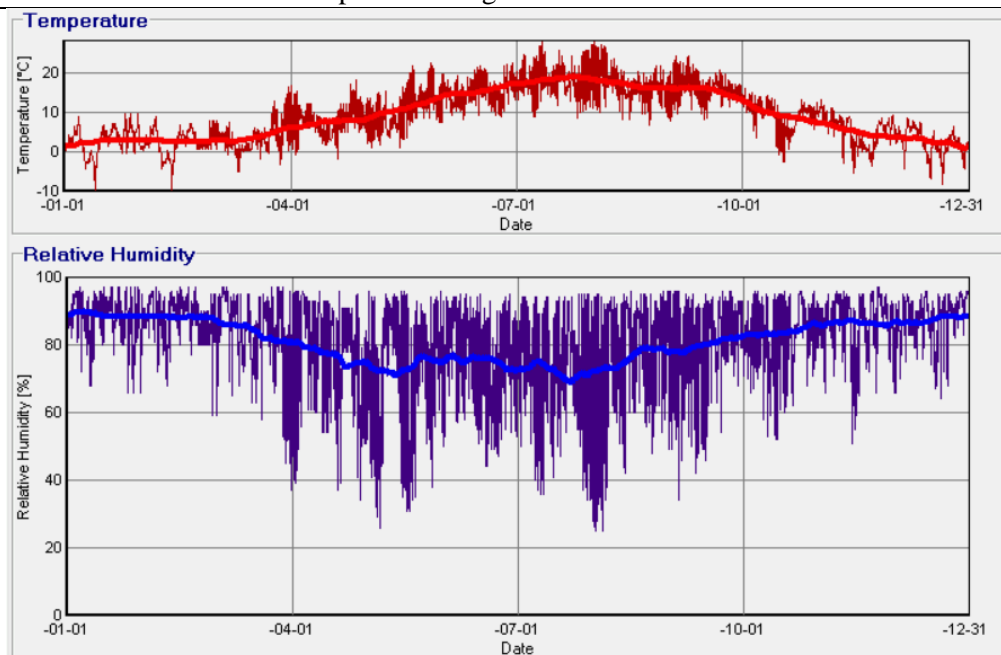


Figur 2: Samband mellan temperatur och mättnadsånghalt.

Förhållandet mellan aktuell ånghalt och mättnadsånghalt kallas *relativ fuktighet*, (RF), som ofta anges i procent. Den relativa fuktigheten kan inte överstiga 100 %. Det vill säga ånghalten kan inte bli högre än luftens mättnadsånghalt vid en viss temperatur. Om antingen ånghalten höjs eller att mättnadsånghalten sänks vid 100% relativ fuktighet, kondenserar överskottsukten. Kondens kan exempelvis märkas av på kalla ytor i fuktiga miljöer. Det beror på att mättnadsånghalten på den kalla ytan är lägre än i resten av utrymmet.

Exempel på ett normalår med avseende på temperatur och relativ fuktighet redovisas i Figur 3. Normalåret baseras på klimatdata från olika perioder och år som tillsammans resulterar i ett genomsnitt över tid (WUFI, 2018). Den relativa fuktigheten utomhus varierar mellan cirka 85–90 % på vintern till cirka 70 % på sommaren. RF är i genomsnitt högre i södra än norra Sverige, samt lägre inåt i landet jämfört med runt kusten (SMHI, 2013)

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor



Figur 3. Normalår för Lund (WUFI, 2018).

2.2 Fukt i material

I alla byggnadsmaterial som används i praktiken finns en viss fukt bunden. Fukten kan bindas i materialet på två principiellt olika sätt; fysikaliskt bunden och kemiskt bunden (Arfvidsson, et al., 2017). Fysikaliskt bundet vatten kan i sin tur delas in i adsorberat vatten och kapillärt vatten beroende på hur vattnet ”tagits upp” i materialet. Utöver kemiskt och fysikaliskt bundet vatten kan även *fritt vatten* absorberas av ett material i stora porer samt på ytan av materialet (Burström, 2007). Ur praktisk synpunkt kan vattnet även delas in i förångningsbart och icke-förångningsbart vatten. Det fysikaliskt bundna vattnet samt det fria vattnet utgör tillsammans förångningsbart vatten, det vill säga det vatten som avgår då materialet hettas upp till 105 °C. Det kemiskt bundna vattnet är hårt bundet till materialets torra struktur och avgår ej vid uttorkning, således utgör detta en icke-förångningsbar del.

Det fukttinnehåll, alltså den mängd förångningsbart vatten som materialet innehåller anges oftast som w , fukthalt eller u , fuktkvot

$$w = \frac{\text{Förångningsbara vattnets vikt}}{\text{Materialets volym}}, \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1)$$

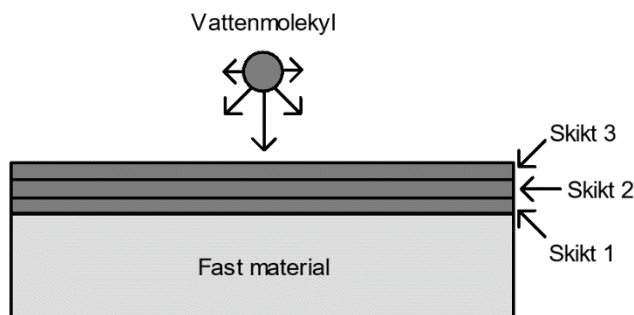
$$u = \frac{\text{Förångningsbara vattnets vikt}}{\text{Materialets torra vikt}}, \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right] \quad (2)$$

Ifall man dividerar fukthalt med fuktkvot erhåller man materialets skrymdensitet enligt följande samband:

$$\rho_{skrym} = \frac{w}{u} = \frac{\text{materialets torra vikt}}{\text{materialets volym}}, \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3)$$

2.2.1 Adsorption

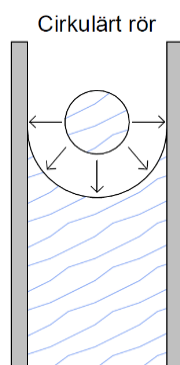
Adsorption är det fenomen då vattenmolekyler binder till materialets ytor. Vattenmolekyler har i allmänhet en större attraktionskraft till materialytorna än till andra vattenmolekyler. Adsorption sker först på materialytorna. Då tjockleken på det adsorberade skiktet motsvarar tjockleken på en vattenmolekyl talar man om *monomolekylär* adsorption. Vid en tjocklek som motsvarar flera vattenmolekyler talar man om *polymolekylär* adsorption. I Figur 4 illustreras adsorption på en materialyta i flera skikt. Desto högre relativ fuktighet det är i omgivande luft, desto fler skikt kan bindas (Burström, 2007). Den totala mängden fukt som binds genom adsorption är därför till stor del kopplad till vilken relativ fuktighet som råder, men även hur stor specifik yta materialet har. Ett finporöst material som lättbetong kan binda stora mängder vatten då det har stor specifik yta, medan ett material med mindre specifik yta, exempelvis mineralull, binder mindre vatten (Arfvidsson, et al., 2017).



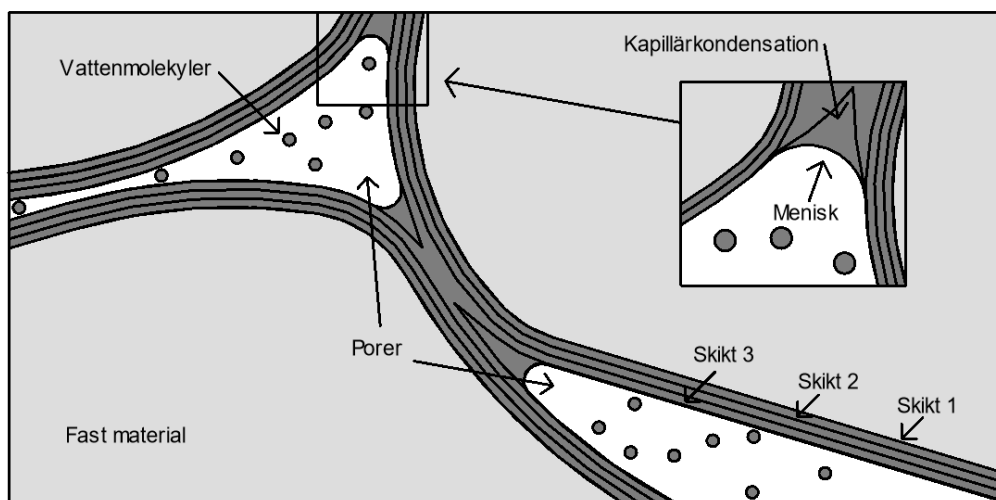
Figur 4. Adsorption på en materialyta.

2.2.2 Kapillärkondensation

I en kapillär bildas en konkav vattenyta, så kallad menisk. Mot menisken är attraktionskraften mellan vattenyta och vattenmolekyl högre än mot en plan yta, se Figur 5. Vattenmolekyler attraheras i den konkava ytan och kondenserar. Detta fenomen kallas kapillärkondensation. Det inträffar endast vid mycket små porradier men spelar en stor roll för fuktabsorption i materialporer (Arfvidsson, et al., 2017; Burström, 2007). Kapillärkondensation i ett porsystem illustreras i Figur 6.



Figur 5. Illustration av en vattenmolekyl och dess attraktionskraft mot kringliggande ytor.

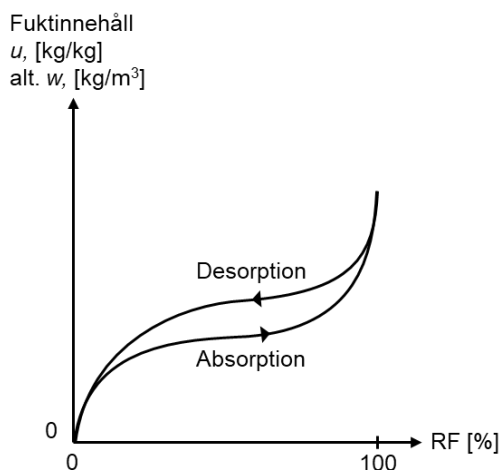


Figur 6. Illustration av kapillärkondensation i menisk.

2.2.3 Sorptionsisoterm

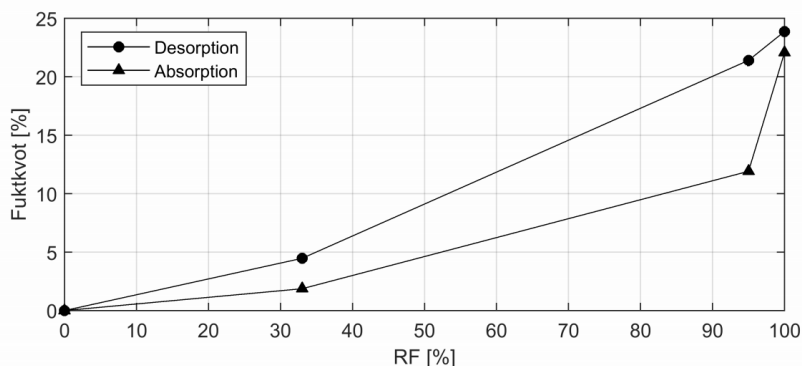
Placeras ett torrt material i en fuktig miljö så kommer materialet att börja absorbera fukt från omgivningen. På samma sätt så kommer ett fuktigt material som placeras i en torr miljö släppa ifrån sig fukt. Materialet kommer att absorbera eller släppa ifrån sig fukt tills det har ställt in sig i jämvikt med omgivande klimat. Sambandet mellan ett materials fukthalt och omgivningens relativa fuktighet kan illustreras med en sorptionsisoterm, även kallat jämviktsfuktkurva alternativt sorptionskurva, se Figur 7 (Arfvidsson, et al., 2017).

Kurvan får olika utseende beroende på om man utgår från ett torrt material eller ett fuktigt material. Då man utgår från ett torrt material som placeras i en fuktig miljö tills jämvikt uppnåtts får man en absorptionskurva. Utgår man i stället från ett fuktigt material och låter det torka ut fås en desorptionskurva. För de flesta material fås olika kurvor för absorption och desorption, ett fenomen som kallas för hysteres. Orsakerna till hysteres är inte helt klarlagda, men troligtvis så är materialets porstruktur betydande. En teori är att större håligheter kräver en hög RF för att mättas. Då ett material torkas ut från ett vattenmättat tillstånd kan vatten finnas kvar i dessa håligheter. Vid absorption är det inte säkert att samma håligheter skulle fyllas genom kapillärkondensation. Således kan större håligheter innehålla vatten vid desorption, som ej hade fyllts vid absorption (Arfvidsson, et al., 2017). Byggnadsmaterial i verkliga förhållanden utsätts normalt inte för uttorkning till 0 % RF eller fullständig vattenmättnad vid 100 % RF. På ytan kan materialet dock utsättas för 100 % RF vid nederbörd. Material utsätts snarare för periodiska variationer inom RF-intervallet redovisat i Figur 3.

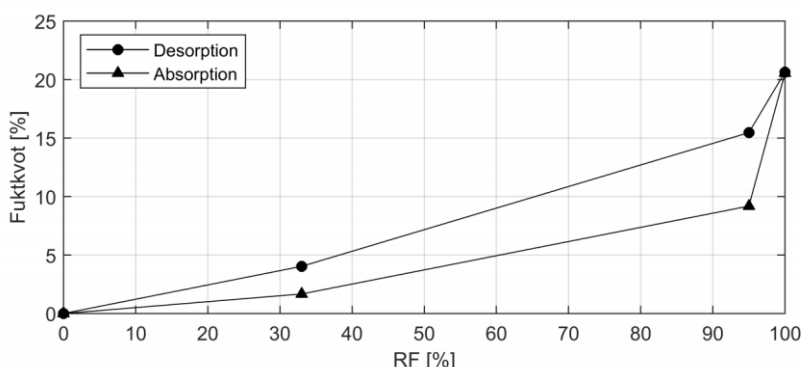


Figur 7: Principiellt utseende av en sorptionskurva.

Sorptionsisotermer för olika typer av skivmaterial har undersökts av (Jönsson & Remnetorp, 2019). Två av skivorna som undersöktes i arbetet är fibercementskivor för användning som yttersta fasadskikt, Cembrit Patina samt Equitone Tectiva. Sorptionsisoterm för skivorna redovisas i Figur 8 och Figur 9.



Figur 8. Sorptionsisoterm Cembrit Patina (Jönsson & Remnetorp, 2019).



Figur 9. Sorptionsisoterm Equitone Tectiva (Jönsson & Remnetorp, 2019).

Sorptionsisotermerna togs fram för fyra olika RF, 0, 33, 95 och 100 %. Skivorna testades från torrt till vattenmättat samt från vattenmättat till torrt för att bestämma absorption- och desorptionsegenskaper. Båda skivorna uppvisar hysteres. Utifrån deras resultat når Patina en fuktkvot på cirka 23,9 % och Tectiva når cirka 20,6 % vid 100 % RF. Från 100–95 % RF ändras fukttinnehållet mer för Tectiva än för Patina. I övrigt uppvisar de båda skivorna liknande sorptionsegenskaper (Jönsson & Remnetorp, 2019).

2.2.4 Byggfukt

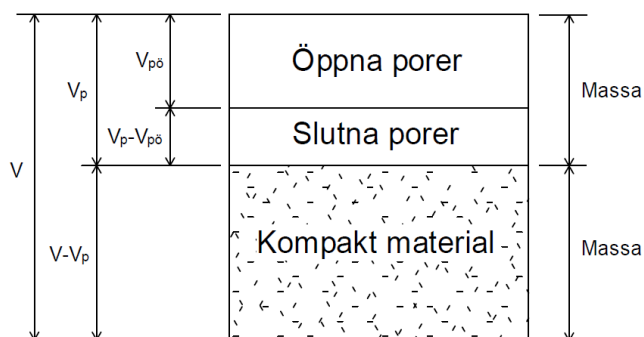
Utöver ovanstående indelning används begreppet *byggfukt*, som är skillnaden i mängden vatten vid byggnadens färdigställande och mängden vatten då byggnaden hamnat i jämvikt med omgivande klimat (Burström, 2007). Byggfukt är något som är fullt normalt vid nybyggnation. Förutsatt att konstruktionen tillåter uttorkning så kommer byggfukt att försvinna med tiden. Det är således viktigt att beakta dessa nivåer för att eventuella fuktbedingade skador ej skall uppstå i konstruktionen.

2.3 Materialstruktur

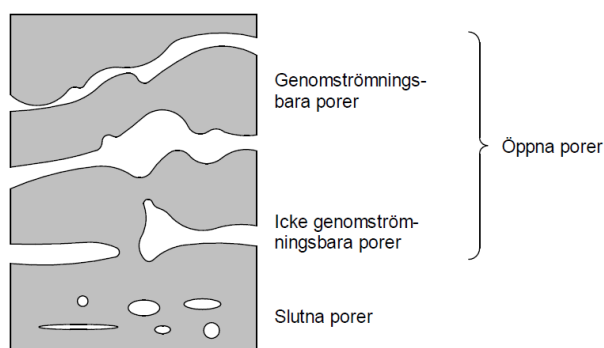
Byggnadsmaterial kan kategoriseras som porösa och kompakta material. Ett poröst material består av en andel porer och kompakt material. Hur poröst ett material är beskrivs med hjälp av begreppet porositet. Porositeten anger förhållandet mellan

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

porvolym, V_p , och den totala volymen, V . Porerna i materialet kan även delas upp i öppna porer och slutna porer, beroende på om de är exponerade vid materialets yta eller om de är slutna i materialets massa, se Figur 10. Öppna porer kan i sin tur delas upp i genomströmningsbara eller icke genomströmningsbara porer, se Figur 11. Mängden porer i ett poröst material har en avgörande betydelse för dess mekaniska och fysikaliska egenskaper (Burstrom, 2007).



Figur 10. Volymfördelning av ett poröst material.



Figur 11. Illustration av olika portyper.

För att avgöra ett materials porositet behöver man bestämma densiteten av det kompakta materialet. Detta kan göras genom att finfördela materialet till ett pulver så att porerna "försvinner". Desto finare porer ett material innehåller, desto finare behöver det sönderdelas för att erhålla ett korrekt värde. Man kan även bestämma ett materials *öppna/skenbara porositet* genom att vattenmätta provet. Öppen/skenbar porositet uppger endast förhållandet mellan volymen hos de öppna porerna och provets skrymvolym. porer (Burstrom, 2007).

Utöver porositeten och porernas "position" i materialet så är storleken på porerna avgörande för materialets egenskaper. Porernas inre yta, s.k. specifik yta, och porstorleksfördelningen är två begrepp som används för att beskriva detta. Den specifika ytan uttrycks i m^2/kg och är ett mått på hur stor yta det finns per kilogram material. Porstorleksfördelning uttrycks genom att definiera en serie gränser för porstorlekar, i form av exempelvis porradier. Andelen porer som hör till respektive storlek redovisas

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

och kan presenteras antingen i tabellform eller diagramform. På så sätt kan man se hur stor andel av materialets porer som är stora respektive små. I Tabell 1 redovisas ett antal byggnadsmaterial som är vanligt förekommande i byggbranschen och dess ungefärliga porositet (Burström, 2007).

Tabell 1. Redovisning av material med olika porositet.

Poröst material	Porositet [%]
Tegel	36
Betong	19
Trä; furu, gran	68–71

Material kan även kategoriseras utefter sina egenskaper i respektive riktning. Om egenskaperna hos ett material är samma för alla riktningar kategoriseras det som ett *isotrop* material. Om egenskaperna i stället är olika i respektive riktning kategoriseras det som *anisotrop*. Ett exempel på ett anisotrop material är trä där egenskaperna i de olika riktningarna skiljer sig i både makro- och mikrostrukturen. Det förekommer också material som, vars egenskaper, kan uppfattas som lika i alla riktningar på makronivå men olika på mikronivå (Burström, 2007).

2.4 Materialegenskaper

Fibercementskivor tillverkas av en mängd olika delmaterial. De vanligaste förekommande delmaterialen är cement, mineralfiller, cellulosa-fibrer och polymerer. Polymererna tillsätts i fiberform och består antingen av, polyvinylalkohol (PVA) eller polypropylen (PP), och fungerar som armering (En-Hua Yang, 2010). I Tabell 2 redovisas ett antal fibercementskivor, samt dess materialegenskaper, som är vanligt förekommande på marknaden.

Tabell 2. Ett urval av materialdata från undersökta fibercementskivor från Cembrit respektive Equitone (Cembrit, 2020) (Equitone, 2018).

Fasadskiva	Lägsta densitet [kg/m ³]	Elasticitetsmodul (vinkelrätt/parallellt) [N/mm ²]	Termisk rörelse [mm/mK]	Vattenabsorbtion [W/mK]
Equitone Tectiva	1580	14 000/14 000	0,01	<25
Cembrit Patina Original	1475	14 000/12 000	0,01	<28

Användningsområdet för fibercementskivor är stort. De kan användas som fasadskiva, vindskyddsskiva eller som byggskiva. Fibercementskivor anses vara underhållsfria, stryktåliga, ha en bra beständighet och vara enkla att montera. De finns i flera variationer och i många kulörer (Cembrit, u.å.; Equitone, u.å.).

Skivorna finns i olika bredder, längder och tjocklekar. De storlekar som anses vara standard för de undersökta leverantörerna presenteras i Tabell 3. Det finns även möjlighet att måttbeställa skivor för utföranden utöver det vanliga sortimentet. I arbetet undersöks de skivor som anses vara av standardmått (Cembrit, 2020; Equitone, 2018a).

Tabell 3: Standardstorlekar för undersökta fibercementskivor (Cembrit, 2020) (Equitone, 2018).

Längd [mm], Cembrit	Längd [mm], Equitone	Bredd [mm]
1192	1195	2500
1192	1195	3050
1220	1250	2500
1220	1250	3050

2.4.1 Klassificering av fibercementskivor

För att säkerställa att de byggnadsmaterial som används i dag är hållfasta och uppfyller sin tänkta funktion kan de delas in enligt olika klassificeringar. Svenska Institutet för Standarder (SIS) är ett exempel på en sådan organisation vars syfte är att utarbeta internationella standarder. SIS ingår i en grupp tillsammans med CEN (Europeiska standardiseringskommittén) samt ISO (Internationella organisationen för standardisering) som tillsammans tar fram standarder. Standarder har som syfte att befrämja handel över gränser, bidra till produktutveckling med avseende på hållbarhet samt verksamhetsutveckling. Denna kunskapsbaserade dokumentation är framtagen av ledande aktörer inom industri, näringsliv och samhälle (SIS, 2018).

Den klassificering som används för släta fibercementskivor är europastandarden SS-EN 12467:2012+A2:2018. Standarden innehåller tekniska kravställningar, utvalda metoder för inspektion och provning samt toleranser, både för invändigt och utvändigt bruk. Exempel på kravställningar som reglerar vilken klassificering skivan ges är följande:

- Riktvärde för fuktrörelsens storlek i intervallet RF 30–90%.
- Riktvärden för skivans hållfasthet och elasticitet under normala eller våta förhållanden.
- Riktvärde för hur många cykler skivan klarar av att frysas och tinas.
- Riktvärde för hur många cykler skivan klarar av att blötläggas och torkas ut.
- Testning av skivans ångpermeabilitet.
- Testning av skivans motstånd mot brand.

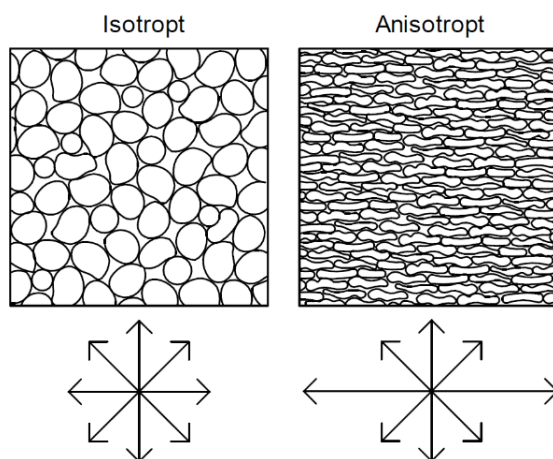
Fasadskivor delas in i fyra olika kategorier beroende på hur bra de presterar i testet. I Tabell 4 beskrivs respektive kategori och dess användningsområde enligt SS-EN 12467:2012+A2:2018. För att förtydliga så provas fasadskivorna enskilt och ej i sin föreskrivna konstruktion.

Tabell 4. Redovisning av fasadskivors olika kategorisering (SIS, 2018).

Kategori	Användningsområde
A	Skivor som är avsedda för applikationer där de kan utsättas för värme, hög fuktighet och svår frost. Exempelvis fasadskivor.
B	Skivor som är avsedda för applikationer där de kan utsättas för värme, fukt och enstaka frost, t.ex. där de antingen är skyddade från eller inte utsätts för svår väderlek. Exempelvis vindskyddsskiva.
C	Skivor som är avsedda för interna applikationer, där de kan utsättas för värme och fukt, men inte för frost. Exempelvis våtrumsskivor.
D	Skivor för styva underlagsapplikationer. Exempelvis byggskivor.

2.5 Volymbeständighet

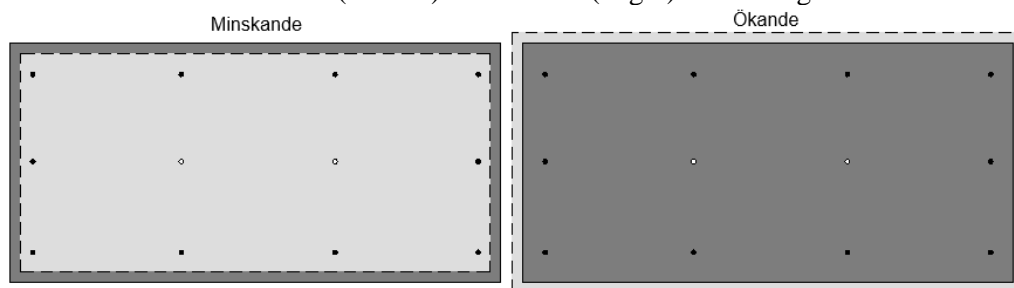
Volymförändringar i material uppstår då materialets temperatur och fukttinnehåll förändras. Dessa fukt- och temperaturbetingade rörelser gör att materialet sväller eller krymper i olika riktningar. Uppbyggnaden av ett material har betydelse för dess volymbeständighet i respektive riktning. I Figur 12 illustreras en isotrop och anisotrop materialstruktur samt storleksordningen på deras volym- och längdförändring.



Figur 12. Materialstrukturer för ett isotropt respektive anisotropt material samt deras längdförändrings storleksordning.

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

Fibercementskivors materialegenskaper är fukt- och temperaturberoende och påverkas således av omgivningen. Figur 13 illustrerar en skivas möjliga rörelser. Den mörkgrå ytan med heldragna linjerna motsvarar skivans ursprungsmått. De streckade linjerna illustrerar skivans minskade (vänster) och ökande (höger) utbredning.



Figur 13. Minskad utbredning och ökad utbredning.

Temperaturbetingade rörelser

Alla material har någon typ av temperaturbetingad rörelse. Normalt uppstår en utvidgning av materialet då temperaturen i materialet ökar och en sammandragning när temperaturen minskar. Ett undantag från detta är vatten som ökar i volym när temperaturen sjunker under 4 °C. Den temperaturbetingade rörelsen, ΔL , följer ett linjärt samband som skrivs enligt ekv. (4).

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (4)$$

Där α är en materialberoende längdutvidgningskoefficient, L är ursprungslängd och ΔT är förändringen i temperatur. Koefficienten varierar något med temperaturen, men variationen är så pass liten så att i normala temperaturintervall behöver det inte beaktas (Burström, 2007). I Tabell 5 redovisas vanligt förekommande material och dess ungefärliga längdutvidgningskoefficient.

Tabell 5. Redovisning av material och dess längdutvidgningskoefficient (Burström, 2007) (Jönsson & Remnetorp, 2019).

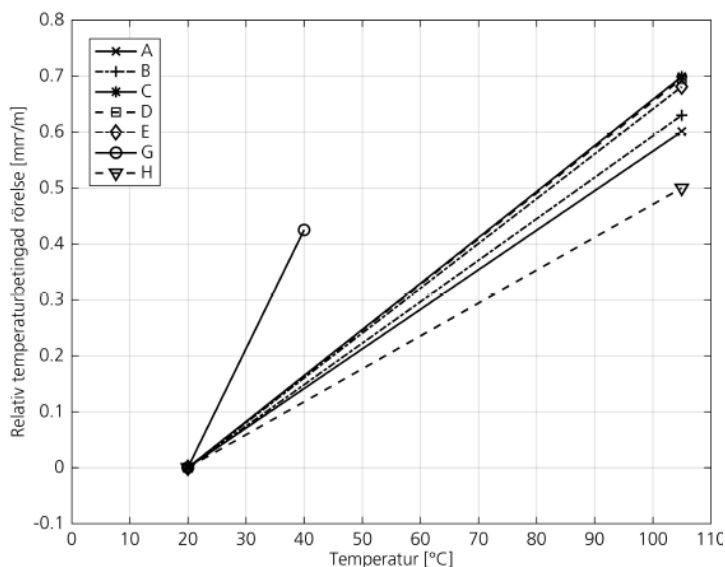
Material	Längdutvidgningskoefficient α [$10^{-6}/K$]
Aluminium	24
Stål	12
Betong	8–12
Furu parallellt med fiberriktning	5
Furu vinkelrätt mot fiberriktning	34
Fibercement	7,1–8,2

Temperaturbetingade rörelser kan förstärkas genom mörka kulörer alternativt reduceras genom ljusa kulörer och blanka ytskikt (Adamson & Hidemark, 1986). Exempelvis så kan en mörk fasadskiva i söderorientering, under hög solstrålning, uppnå högre temperaturer (Falk, 2010).

Nedan redovisas sju olika skivor och dess temperaturbetingade rörelse. Skiva A, B, C och E är av fibercement. Skiva B (Cembrit Patina) och E (Equitone Tectiva) är de skivor

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

som modelleringen utgår ifrån och de har lika stor temperaturbetingad rörelse (Jönsson & Remnetorp, 2019).

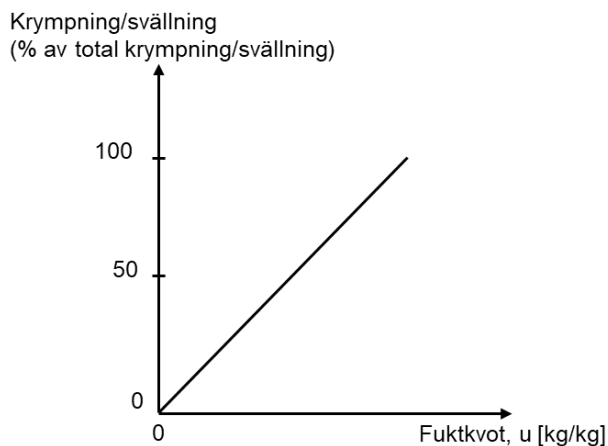


Figur 14. Medelvärde av den relativa temperaturbetingade rörelsen för olika skivor (Jönsson & Remnetorp, 2019).

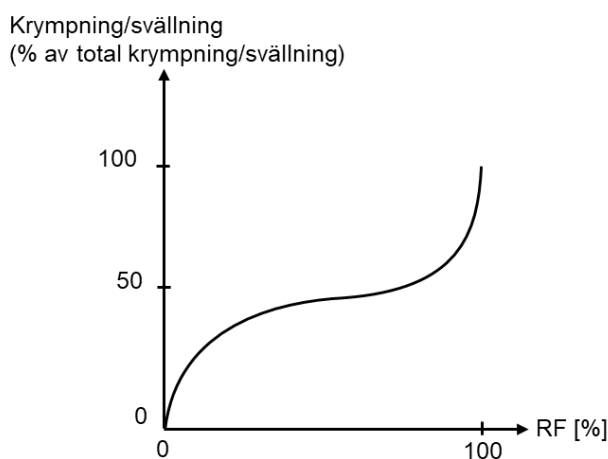
Fuktbetingade rörelser

Fuktbetingade rörelser i material karakteriseras av en krympning (volym- och längdminskning) respektive svällning (volym- och längdökning). Under uttorkning minskar fukthalten i materialet, vilket leder till en krympning och ifall fukthalten ökar, det vill säga fuktas upp, så uppstår en svällning (Burström, 2007).

För de flesta hygroskopiska byggnadsmaterial, det vill säga materialet som innehåller fukt under 98 % RF, så varierar normalt de fuktbetingade rörelserna linjärt med fukttinnehållet, se Figur 15. Förhållandet mellan ett materials fukttinnehåll, fuktkvot eller fukthalt, ges av ett materials sorptionsisoterm. De fuktbetingade rörelserna kan således uppskattas då materialets sorptionsisoterm är känd, se Figur 16 (Nilsson, 2004).



Figur 15. Krympning/svällning proportionell mot fuktkvot.



Figur 16. Krympning/svällning proportionell mot relativ fuktighet.

Fuktrörelserna är som högst då materialets fukttinnehåll ändras som mest, vid RF under cirka 20 % samt över cirka 80–90 % (Nilsson, 2004).

Ett materials relativa fuktrörelser anges i [mm/m] och betecknas med ε_f , där f står för fukt. Relativ fuktrörelse beräknas enligt ekv. (5).

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

Där L [m] är ursprungslängd och ΔL [m] är längdförändring.

De bakomliggande mekanismerna till hur fuktrörelser uppstår är flera. Vilken mekanism som spelar störst roll för rörelserna är dels beroende av vilket material som undersökts, dels vilket RF-intervall som undersökts (Nilsson, 2004).

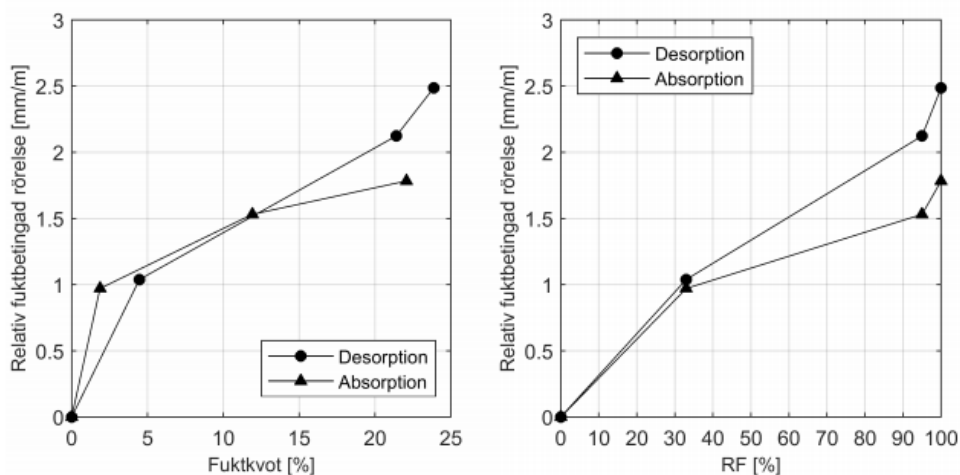
Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

En mekanism som kan kopplas till fuktrörelser i materialet är vattnets ytspänning. Vid uttorkning från ett vattenmättat tillstånd bildas menisker i materialets kapillärporer. Det vatten som binds i kapillärerna utsätts då för en dragspänning samtidigt som kapillärernas porväggar utsätts för en tryckspänning. Denna tryckspänning kan ge upphov till en krympning i materialet. En annan förklaring kan vara en ren volymeffekt av de vattenmolekyler som är strukturellt inbyggda i materialet. Vattnet avgår och återgår vid förändring av ånghalten. Materialets volym ökar då vattenmolekylerna binder till materialet och minskar då vattenmolekylerna avgår. För att dessa förklaringar ska vara rimliga så behöver krafterna som uppstår vara tillräckligt stora för att framtinga deformation (Burström, 2007).

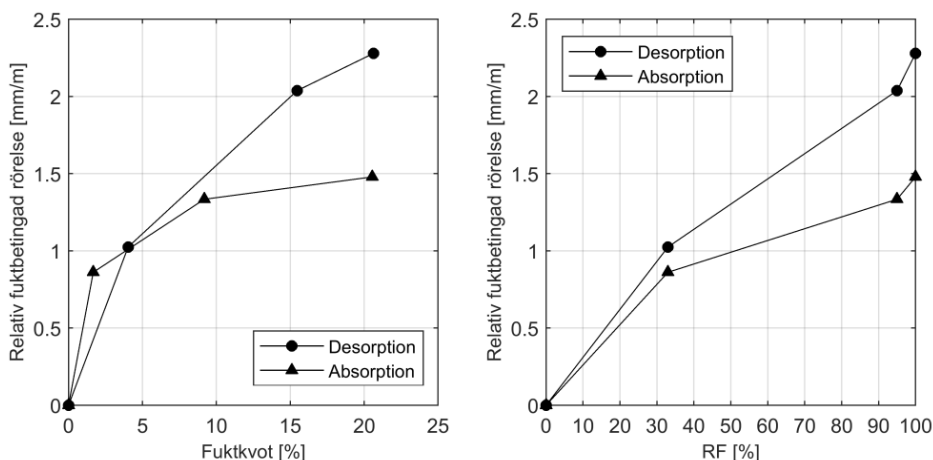
Den fuktbetingade rörelsen i cementbundna material kan till stor del hänvisas till två typer av porer, gelporer samt kapillärporer. Gelporerna bildas i cementgelen vid den kemiska reaktionen mellan vatten och cement. Dessa porer är små och innehåller en stor mängd adsorberat vatten. Det adsorberade avdunstar ur gelporerna och ger upphov till en krympning av gelen. Kapillärporerna utgör det utrymme som inte fyllts ut av cementgelen mellan cementkornen. Dessa porer är mycket större än gelporerna och innehåller endast fukt vid RF över cirka 45 %. Detta vatten är bundet med kapillära krafter som ger ett stort porvattenundertryck vid uttorkning. Som beskrivet ovan medför porvattenundertrycket att materialet drar ihop sig så att det krymper.

Då cementbaserade material torkar ut till låga RF, runt 10 %, kan uttorkning ge upphov till en stor *irreversibel* krympning. Den *irreversibla* krympningen utgör en krympning som ej återgår vid uppfuktning. Det är främst i gelporerna denna typ av krympning uppstår (Nilsson, 2004).

Fuktbetingade rörelser har undersökts för Cembrit Patina och Equitone Tectiva i ett tidigare arbete (Jönsson & Remnetorp, 2019). De fuktbetingade rörelser som uppmättes redovisas i Figur 17 och Figur 18. Till vänster visas samband mellan rörelse och fuktkvot och till höger visas samband mellan rörelse och relativ fuktighet.



Figur 17. Relativ fuktbetingad rörelse för Cembrit Patina (Jönsson & Remnetorp, 2019).



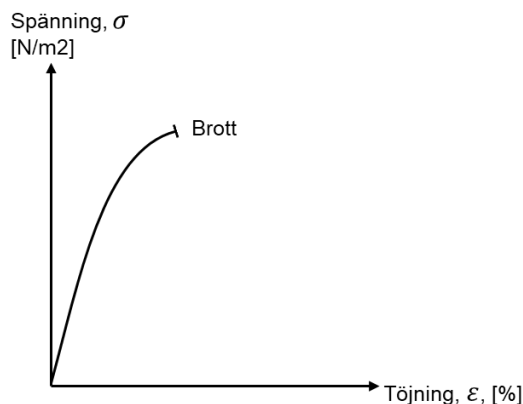
Figur 18. Relativ fuktbeängad rörelse för Equitone Tectiva (Jönsson & Remnetorp, 2019).

För båda de undersökta skivorna är krympningen (vid desorption) större än svällningen (vid absorption). Enligt Jönsson & Remnetorp (2019) krymper Cembrit Patina cirka 2,5 mm/m vid en uttorkning från 23,9 % till 0 % fuktkvot. Svällningen i motsvarande fuktkvotsintervall är cirka 1,8 mm/m. Equitone Tectiva krymper cirka 2,25 mm/m vid en uttorkning från 21 % till 9 % fuktkvot. Svällningen i motsvarande fuktkvotsintervall är cirka 1,8 mm/m. Krympningen är större än svällningen för båda skivorna vilket kan tyda på att det uppstått en irreversibel krympning vid uttorkning av skivorna (Jönsson & Remnetorp, 2019; Cembrit, 2020; Equitone, 2018).

2.6 Hållfasthet och deformation

Hållfasthet i ett material bedöms utifrån den last som materialet klarar av att ta upp innan det går till brott eller permanent deformeras. Ansträngningen ett material utsätts för beror dels på storleken på lasten, dels storleken på provkroppen som belastas. Detta kan beskrivas som *spänning*, som är belastning per ytenhet. Spänningar som belastar materialet vinkelrätt mot en yta benämns som *normalspänning*, σ , och spänningar som belastar parallellt med ett plan benämns som *skjuvspänning*, τ (Burström, 2007). Spänningar i ett material kan komma från yttre påverkan samt från inre spänningar. De inre spänningarna kan i sin tur härstamma från förhindrad rörelse vid exempelvis fukt- och temperaturrörelser, beskrivna i kapitel 2.5.

Vid belastning så kan en provkropp förlängas eller förkortas. Längdändringen i förhållande till ursprunglig längd kallas för *töjning* och betecknas med lilla epsilon, ϵ enligt ekv. (5). Ett materials deformationsegenskaper kan uttryckas i ett spänning-töjnings-diagram där det är möjligt att se hur stor töjning samt spänning en provkropp kan ta upp innan den går till brott, se Figur 19.



Figur 19: Spännings-töjnings-diagram

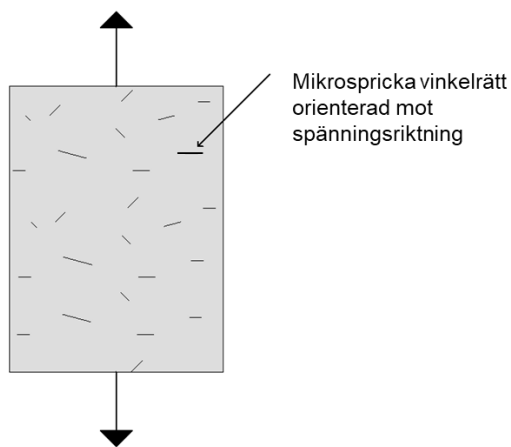
Deformationer kan delas in i elastiska och plastiska, där elastisk deformation är sådan deformation som helt återgår till ursprungsläget och plastisk ej återgår helt. Normalt är de elastiska deformationerna proportionella mot spänningen och är därmed rätlinjiga i ett spännings-töjnings-diagram. I det elastiska området kan materialets beteende beskrivas med hjälp av Hooke's lag, se ekv. (6).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (6)$$

Elasticitetsmodulen förkortas E och är en materialkonstant (Burström, 2007).

För en provkropp som är förhindrad att töjas uppstår en spänning. Spänningen kan, i det elastiska området, härledas med Hooke's lag, där ε är den töjning provkroppen haft ifall den ej varit förhindrad att röra sig. Beroende på om den förhindrade rörelsen är en förlängning eller förkortning av provkroppen blir den uppkomna spänningen positiv (tryckspänning) eller negativ (dragspänning) (Heyden, et al., 2017).

För spröda material, så som betong och andra cementbaserade produkter, är materialets tryckhållfasthet i de flesta fall många gånger större än materialets draghållfasthet. För just betong är tryckhållfastheten cirka 10–20 gånger större än draghållfastheten, vilket är en följd av mikrosprickor i materialet. Mikrosprickor är små sprickor fördelade över materialets volym, se Figur 20. Då provkroppen i figuren utsätts för belastning i drag öppnas de mikrosprickor som är orienterade vinkelrätt mot spänningsriktningen upp. Detta orsakar en reduktion av den tvärsnittsarea vilken spänningen är fördelad över. Det skapas även spänningskoncentrationer vid mikrosprickornas ändar. Dessa två fenomen bidrar till en reduktion av hållfastheten i provkroppen. Ifall samma provkropp belastas i tryck så pressas dessa sprickor i stället samman och de två ovanstående fenomen uppstår ej (Burström, 2007).



Figur 20. Mikrosprickor i material

För betong och cementbaserade produkter används ofta någon typ av armering för att stärka materialet vid dragspänningar. I fibercementskivor används fibrer, exempelvis cellulosafiber och olika typer av polymerer. Enligt Akers (2010) är utbredningen av skadorna som uppstår vid dragspänning relativt enkel att följa. Det kommer att bildas relativt stora sprickor, 1–3 μm vinkelrätt mot spänningens riktning. Samtidigt bildas mindre sprickor, <1 μm , slumpmässigt orienterade över skivans yta. Då lasten ökar så ökar storleken på sprickorna vinkelrätt mot spänningens riktning. Spänningarna överförs då till fibrer som överbryggar sprickorna. Akers (2010) menar därmed att orienteringen på fibrerna spelar stor roll för skivornas sammanlagda hållfasthet.

Belastning kan påföras vid enstaka eller upprepade tillfällen. Den kan även vara konstant eller varierande i storlek. Då belastning påförs vid upprepade tillfällen eller med varierande laster uppstår även varierande spänningar. Mikrosprickor skapas vid belastningarna som i värsta fall kan växa och leda till brott i materialet. Fenomenet kallas för *utmattning* och beror på dels antalet *lastväxlingar*, hur många gånger lasten påförs och släpps, dels på *spänningsamplituden*, skillnaden i maxspänning och mittspänning (Burström, 2007).

2.6.1 Sprickbildning

När en krympning är förhindrad så skapas en dragspänning i materialet. Vid spänningar som överstiger materialets maximala draghållfasthet deformeras materialet. I Figur 21 redovisas ett scenario då ett materials draghållfasthet överstigs på grund av en förhindrad rörelse.

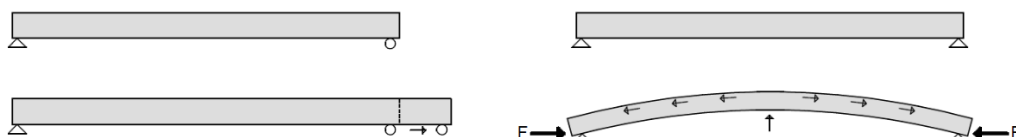


Figur 21. Skillnader vid fri respektive förhindrad rörelse.

Enligt Figur 13 krymper skivor in mot mitten, förutsatt att de är fria att krympa. Då krympningen är förhindrad kommer en dragspänning bildas mellan de infästningar som förhindrar krympningen och sprickbildning kan uppstå ifall spänningen överstiger hållfastheten. För monterade skivor har sprickbildning främst uppmärksamats i hörn,

2.6.2 Buckling

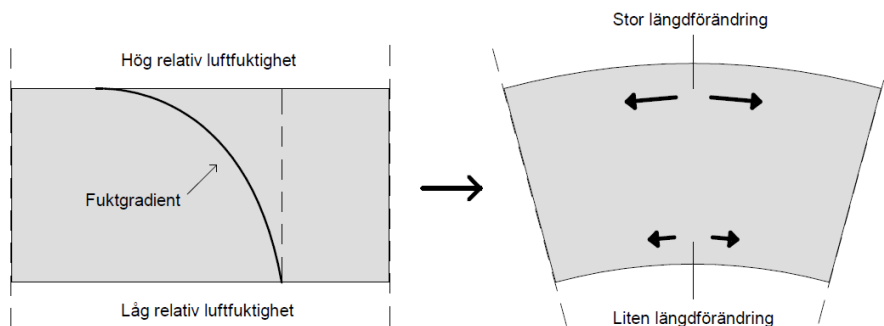
Då ett material är förhindrat att svälla uppstår en tryckande normalkraft i längdförändringens riktning, se Figur 22. För slanka element finns det en risk att materialet kollapsar till följd av en instabilitet i planet när den tryckande kraften blir för stor. Detta fenomen inträffar då materialet tvingas ur sitt jämviktsläge och benämns som *knäckning* eller *buckling*. Om elementet är tjockare alternativt stagat i den veka riktningen går materialet i stället till brott när tryckhållfastheten överstigs (Heyden, et al., 2017).



Figur 22. Skillnader vid förhindrad respektive korrekt monterad fasadskiva under ökad längdförändring.

2.6.3 Vällning

Vällning visar sig på ett liknande sätt som buckling där en utbuktning ur skivans plan uppstår. Vällning kan uppstå då det är betydande skillnader i klimat på respektive sida av ett material, se Figur 23. Detta medför att materialet krymper och sväller olika på respektive sida, vilket kan leda till att skivan välver, se Figur 24. En ojämn fuktfördelning kan även leda till dragspänningar i den utbuktande delen av materialet som i sin tur kan leda till sprickbildning (Nilsson, 2004). Regn, dagg och dålig luftomsättning samt hög värmebelastning på grund av exempelvis solstrålning kan vara pådrivande faktorer.



Figur 23. Fuktfördelningen genom skivan där sidan med högre relativ fuktighet resulterar i en större längdförändring vid svällning än den sida med lägre relativ fuktighet.



Figur 24. Tvärsnitt av vällning i skivfasad.

2.7 Åldersbeständighet

Nedbrytning och åldring sker av alla material. Nedbrytningsprocessen kan ske olika snabbt beroende på materialets sammansättning, ytstruktur och beroende på den miljö som materialet exponeras för. Materialets förmåga att motstå nedbrytningsprocesser och bibehålla sina ursprungliga egenskaper kallas beständighet. Beständigheten kan syfta på den naturliga åldringsprocess som sker i ett material, men även på den nedbrytning som, av yttre faktorer, påverkar materialet. Som ett sätt att bedöma beständigheten används begreppet livslängd som kan delas in i teknisk, funktionell, estetisk och ekonomisk livslängd (Burström, 2007);

- Teknisk livslängd innefattar den tid som en byggnad rent tekniskt fungerar från att den tagits i bruk.
- Funktionell livslängd syftar på den tid inom vilken en byggnad, eller delar av en byggnad, uppfattas som ändamålsenlig. Vid ändring av funktionella krav så kan ett utbyte av en del motiveras innan dess tekniska livslängd är nådd.
- Estetiska livslängden beskriver den tid som en byggnad, eller delar av, inte längre anses vara estetiskt tilltalande i betraktarens ögon.
- Ekonomisk livslängd kan beskrivas som den tid under vilket en byggnad fortfarande är lönsam (Karlsborgs Kommun, 2005).

Det finns olika nedbrytande faktorer som kan påverka ett materials beständighet. Dessa kan delas in i fem olika typer av nedbrytning; kemisk, elektrokemisk, fysikalisk, biologisk och strålningsrelaterad. Sammanställningen nedan beskriver angrepp som tros påverka läktsystem och fibercementskivor negativt.

Tabell 6. Redovisning av utvalda angrepp som kan angripa byggnadsmaterial (Burström, 2007).

Typ av angrepp	Exempel på nedbrytande faktorer
Kemisk	Syror som angriper cementbundna material. Karbonatisering, vilket uppstår när luftens koldioxid angriper betong. Luftens ozon som angriper gummi vilket resulterar i sprickbildning. Mjukgörare som migrerar ur plaster efter tid, resulterar i en hård och spröd plast.
Elektrokemisk	Korrosion som uppstår på grund av potentialskillnader.
Fysikalisk	Rörelser i byggnadsmaterial kopplade till fukt- och temperaturförändringar samt frost- och saltsprängning.
Biologisk	Mikrobiell påväxt vid specifika fukt- och temperaturförhållanden.
Strålning	UV-strålning som angriper material innehållande organiska material, resulterar i nedbrytning och färgförändringar.

2.7.1 Fysikaliskt angrepp

En fasad utgör byggnadens yttersta skikt och utsätts för många typer av väderpåfrestningar, så som nederbörd, solstrålning samt varierande temperaturer. Dessa påfrestningar kan leda till fukt- och temperaturbetingade rörelser, se kapitel 2.5.

Fasader utsätts för olika stor väderpåfrestning, beroende på geografisk placering samt orientering. Generellt så är fasader som vetter mot norr kallare och fuktigare då den

utsätts för mindre solstrålning. Sydliga och västliga fasader är generellt varmare torrare då de utsätts för mer solstrålning (Falk, 2010).

Vid minusgrader kan fukt i fasadskivans porer frysa till is. När vattnet fryser till is expanderar vatteninnehållet cirka 9 % vilket kan leda till att materialet ”sprängs”, ett fenomen som kallas *frostsprängning*. Avgörande för om frostsprängning uppstår eller ej är beroende av hur stor andel av materialets porsystem som är fyllt med vatten (Burström, 2007). Väderpåfrestningar är cykliska och kan leda till att materialet utmattas, mer om utmattning står beskrivet i kapitel 2.6.

En vanlig åtgärd för att förbättra åldersbeständigheten för ett material är ytbehandling. Detta kan göras genom att ytbehandla materialet med ett skikt med stort diffusionsmotstånd vilket gör att fuktutbytet med omgivningen hindras eller fördröjs. Syftet med detta är att minimera materialets fysikaliska nedbrytning (Träguiden, 2019). Dessutom kan materialet skyddas mot strålningsangrepp genom att placeras i skydd mot UV-strålning. Detta i kombination med att skydda materialet ifrån väderpåfrestningar gör att de fysikaliska angreppen minimeras.

2.7.2 Kemiskt angrepp

Betong och andra cementbundna material påverkas av koldioxiden i luften. Koldioxiden diffunderar in i materialet och reagerar med kalciumhydroxid och bildar kalciumkarbonat. Processen kallas för *karbonatisering*. Karbonatiseringen påbörjas vid materialets ytor då processen kräver koldioxid (Burström, 2007). Processens hastighet påverkas främst av materialets fuktighet och karbonatiseringen sker som snabbast vid cirka 70–80 % (Silfwerbrand & Sundquist, 1998). Karbonatisering är något som bör beaktas då det kan ha en betydande roll i fibercementskivors permanenta krympning. (Akers, 2010).

3 Ytterväggskonstruktion

I nedanstående avsnitt redovisas en ytterväggskonstruktions generella uppbyggnad utifrån och in. Vidare så ges en introduktion till fibercementskivor och hur denna typ av fasadskiva används och regleras.

3.1 Yttre skikt

Ytterväggens yttre skikt har som uppgift att skydda byggnaden mot väderpåfrestningar, främst fukt i form av regn samt för att hindra solljus från att bryta ner bakomliggande vindskyddsskiva (Sandin, 2010). Det yttre skalet kan variera i en mängd utföranden och bidrar till byggnadens utseende. Exempel på yttre skikt som kan förekomma är träpanel, tegel, glas, plåt och fasadskivor.

På marknaden finns det flera typer av fasadskivor med varierande utseende och egenskaper. Fasadskivorna består ofta av en kombination av material som är framtagna för att fungera och se ut på ett önskvärt sätt. Exempel på fasadskivmaterial är bland annat fibercement, stenkomposit och skiffersten (Swisspearl, u.å; Steni, u.å; Nordskiffer, u.å).

3.2 Läktsystem

Läktsystemet utgörs av den bakomliggande konstruktionen som fasadskivor fästs i. Det består ofta av ett antal olika komponenter som tillsammans utgör ett system. Det kan bestå av vertikala eller horisontella läkt av följande material: aluminium, galvaniserat stål eller trä. Läktsystemet kompletteras vanligtvis med perforerade plåtar i neder- och ovkant för att tillräcklig luftgenomströmning skall uppnås. De perforerade plåtarna förhindrar också skadedjur från att ta sig in i konstruktionen (Falk, 2010).

Dimensionering av läktsystem görs med avseende på fasadens egentyngd, infästningar och vindlaster. Speciella åtagande görs ofta där vinden är som kraftigast, i så kallade randzoner, och vid exempelvis fönster och dörrar (Europrofil, 2017).

För att säkerställa att fukt i luftspalten ej transporteras längre in i ytterväggskonstruktionen är det nödvändigt med god ventilation mellan det yttre skalet och stommen. Genom luftryckskillnader mellan spaltens öppning i underkant respektive överkant skapas en luftströmning. Tryckskillnaderna i luften skapas av vind och luftens densitet med avseende på temperatur och fuktinnehåll (Falk, 2010). Luftspalten skapas ofta med hjälp av läkt som både fungerar som en distans och underlag för infästningar.

Falk (2010) menar att det råder en kunskapsbrist gällande vilken storlek på luftspalt som utgör en tillräcklig luftomsättning och det kan därför vara svårt att uppskatta denna. Falk (2010) påvisar även ett flertal faktorer som påverkar luftomsättningen och fuktransporten i en luftspalt. Det är bland annat fasadens orientering, läktens riktning och fasadskivans kulör (Falk, 2010).



Figur 25. Illustration av en typisk ytterväggskonstruktion (Europrofil, u.å.).

Vanligaste läktsystemet för fibercementskivor är läkt av trä (Cembrit, u.å.). Trä är ett organiskt material som tar upp fukt vilket resulterar i en volym- och längdförändring. Läkten är utsatta för klimatet utomhus och kommer således påverkas av luftens varierande relativa fuktighet. Om läkten utsätts för fuktiga förhållanden finns det risk för mögel och röta, samt en försämring av materialets hållfasthet. Trä är inte temperaturberoende i den bemärkelsen att det bidrar till en betydande längdförändring. Däremot fungerar en temperaturökning som en pådrivande faktor för uttorkning.

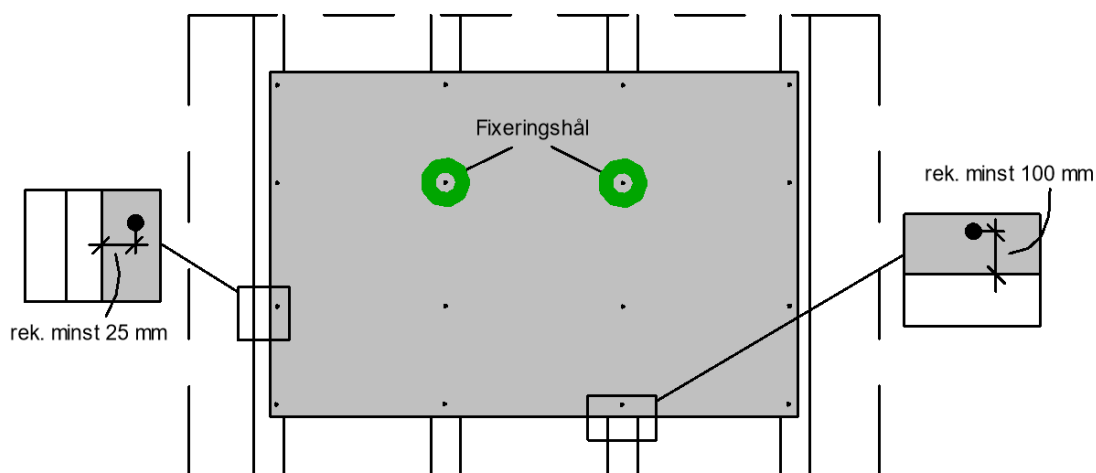
Det näst vanligaste läktsystemet vid användning av fibercementskivor är galvaniserade ställäkt. Galvaniserade ställäkt är inte känsliga för fukt såsom träläkt utan påverkas av temperaturförändringar vilket kan resultera i längdförändringar (Cembrit, u.å.).

Aluminiumläkt används mer sällan, då användningen oftast kräver ett mer komplext läktsystem med fix- och glidpunkter (Equitone, 2018a). Detta för att hantera eventuella längdförändringar som föreligger vid stora temperaturförändringar då aluminium har högre längdutvidgningskoefficient än trä och stål, se Tabell 5. Aluminiumsystem är även det mest kostsamma alternativet på grund av ovanstående. Det kan bland annat förekomma i kommersiella byggnader där man lagt mer vikt på att skapa en unik fasad.

Infästningar för fibercementskivor

Fasadskivorna kan fästas i bakomliggande läkt med ett antal olika infästningar, beroende på förutsättningarna. En säker och stabil infästning är av stor vikt för att förhindra risken att skivor faller ner eller skadas på grund av vind eller fasadens egentyngd. Förekommande infästningarna är skruvar, med eller utan gummitätning, eller pop-nitar.

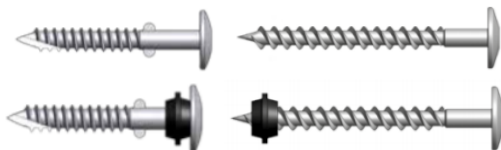
Infästningarnas storlek och antal bestäms med avseende på de spänningar och laster som fasadskivan utsätts för (Europrofil, 2017). Fasadskivan måste dessutom klara av de spänningar som kan uppstå i varje infästning på grund av fukt- och temperaturlagade rörelser. Detta görs genom att placera infästningarna med ett bestämt avstånd från fasadskivans ytterkant. Det gör att de spänningar som kan uppstå sprids över en större yta. Utöver att föreskriva ett bestämt minsta kantavstånd föreskrivs en håldiameter som är större än infästningen. På så vis möjliggörs eventuella rörelser på grund av fukt- och temperaturskillnader. Kantavstånd, håldiameter och skruvdiameter skiljer sig mellan olika konstruktioner beroende på de krav som ställs för det specifika fallet. I Figur 26 redovisas ett exempel på kantavståndens storlek. När det gäller infästningar så föreskriver Etex en håldiameter på 7 mm och en infästning som är 2–3 mm mindre än hålets diameter vid användning av träläkt (Equitone, 2018a). Cembrit föreskriver i stället en håldiameter på 8 mm och en infästning som är 3,1–3,5 mm mindre än hålets diameter vid användning av träläkt (Cembrit, 2020b). En eller flera infästningar har som uppgift att fixera skivan i ett visst läge, så kallade fixeringshål. Till skillnad från de vanliga infästningarna så är fixeringshålens diameter lika stor som skruvens diameter. Dessa fixeringshål används för att positionera skivan i rätt läge vid montage och motverkar rotation i skivan (Cembrit, 2020b; Equitone, 2018a).



Figur 26. Exempel på måttangivelser som ska beaktas vid montage samt fixeringshålens placering.

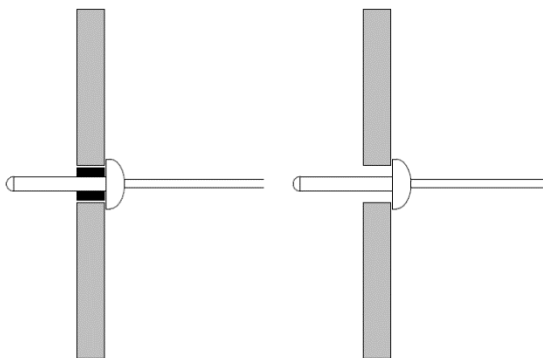
Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

Beroende på vilket material som läkten består av föreskrivs olika infästningar för de skivor som studerats. Vid användning av träläkt så föreskriver de båda leverantörerna liknande infästningar; självborrande och hålförstorande skruvar alternativt vanliga skruv, förutsatt att hål förberetts i fasadskivan (Cembrit, 2020b; Equitone, 2018a).



Figur 27. Icke skalenlig illustration av hålförstorande skruv och vanlig skruv, med och utan gummitätning (Cembrit, 2020b).

Vid användning av stålläkt så monteras fasadskivorna på liknande sätt som för träläkt. Det går att fästa fasadskivorna med vanliga skruvar eller med pop-nitar. Pop-nit är en typ av infästning som tillkommit på senare tid som i hög grad ersatt skruven. Anledningen till detta är att pop-niten är enklare att centrera och att åtdragningstyrkan kan ställas in. Vid användning av pop-nit behövs både fasadskiva och läkt förborras till rätt håldiameter (Cembrit, 2020a). För att underlätta centreringsen av pop-niten kan en gummitätning användas. Gummitätningen tätar hålet och är tillräckligt mjuk för att ta upp eventuella rörelser från fasadskivan, se Figur 28.



Figur 28. Pop-nit med eller utan gummitätning innan pop-niten komprimerats.

3.3 Stomme

Stommen är den bärande delen i byggnadens konstruktion vars uppgift är att ta hand om de laster som byggnaden utsätts för. Stommen består vanligtvis av träreglar, betong eller stålpelare. För att hindra att vind och fukt tränger in i stomkonstruktionen kan man välja att komplettera med en vindskyddsskiva innanför läktsystemet (Isover, u.å.). Stommen kommer inte att beskrivas ytterligare då det inte är relevant för just detta arbete.

4 Metod

I detta avsnitt beskrivs de metoder som används under arbetet. Först beskrivs den intervjustudie som genomförts. Därefter beskrivs modelleringen som baseras på intervjuerna samt tidigare arbeten.

4.1 Intervjuer

Intervjuer genomförs av tre leverantörer och tre entreprenörer för att samla in information om potentiella problem och skador hos fibercementskivor. Genom att ta del av skador som förekommit i projekt kan en bättre förståelse erhållas för skadornas variation, omfattning och dess sannolika orsaker. Insamlande av data genomförs med hjälp av semistrukturerade intervjuer efter kvalitativ metod. Intervjuerna utgår från ett urval av frågeställningar som ställs i en bestämd ordningsföljd till samtliga leverantörer och entreprenörer. Metoden möjliggör följdfrågor, vilket öppnar upp till samtal. Detta resulterar i att leverantörer och entreprenörer behandlas lika och ett bedömningsunderlag skapas. Frågeställningarna som givits till leverantörer och entreprenörer skiljer sig något åt, se Bilaga A och Bilaga B. Anledningen till detta var för att kunna få ut så mycket relevant information som möjligt. I Bilaga C och Bilaga D och redovisas det som sagts under intervjuerna.

4.2 Modellering

Utifrån insamlade data, tros uttorkning vara en betydande faktor för sprickbildning i fibercementskivor och kommer således att fokuseras på under modelleringen. Genom användning av programmet WUFI kan dynamiska modeller kopplat till värme- och fuktöverföring göras. Programmet möjliggör en simulering av hygrotermiska förhållanden i byggnader och byggnadskomponenter under faktiska klimatförhållanden (WUFI, 2021). För att säkerställa att resultaten är tillförlitliga så har utvecklarna jämfört resultaten med resultat erhållna från fysiska laborationer och tester på fullskaliga väggar utomhus (WUFI, 2018). Utöver WUFI's kontroll av resultatens tillförlitlighet så har programmet även validerats av Lunds tekniska högskola för väggkonstruktioner (Mundt-Petersen, 2015; Mundt-Petersen & Harderup, 2013).

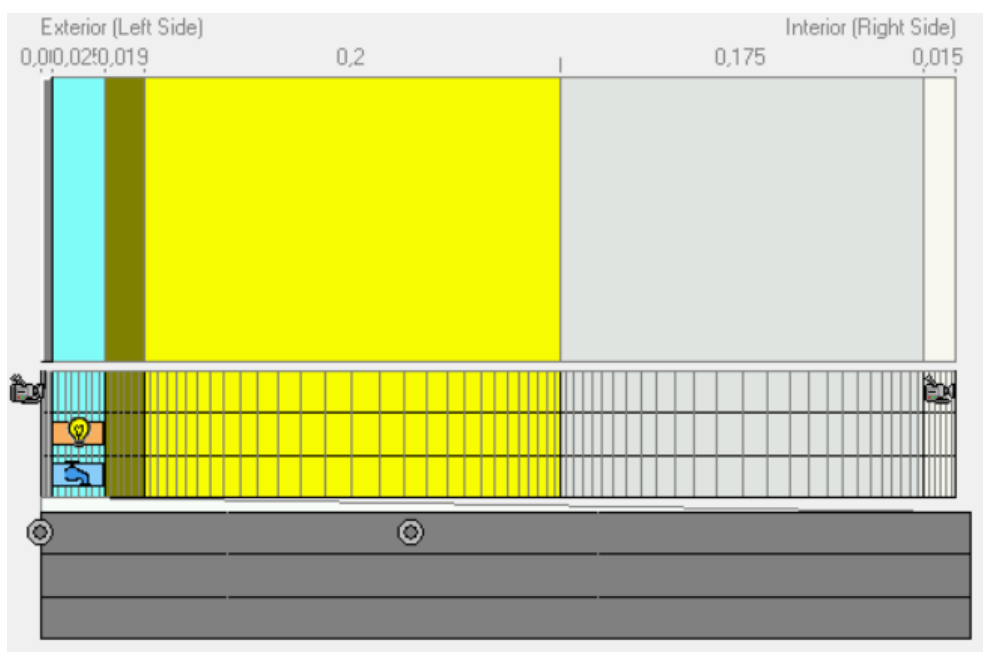
Modelleringen utgörs av fyra simuleringar där fukthalt vid montage av skivan samt luftspaltens luftomsättning varieras. Variationer i skivans fukthalt under genomförda simuleringar har sedan använts för att beräkna fuktrörelser. Modelleringens syfte är att undersöka om de rörelser som uppstår är tillräckligt stora för att skapa en spänning, med avseende på de toleranser som finns vid montering.

Modelleringen utgår från en väggkonstruktion ur WUFI's databas och har som syfte att efterlikna ett förlopp från när fasaden monteras tills det att fasaden nått fuktjämvikt. Det görs genom att utgå från leverantörers materialanvisningar gällande skivans egenskaper samt ingenjörsmässiga bedömningar. Nedan beskrivs vilka grundinställningar som görs för modelleringen samt en motivering i de fall det behövs.

Uppbyggnad/Monitorpositioner

Modelleringsens första steg är att bygga upp den väggkonstruktion som skall undersökas. Här väljs material och dess tjocklek, mätpunkter och eventuella värme- och fuktkällor. Även luftspaltens luftomsättning ställs in här.

Väggkonstruktionen som väljs för simuleringen är ett exempel som finns tillgängligt i WUFI. Från vänster till höger, består väggkonstruktionen av en fibercementskiva, luftspalt, vindskyddsskiva, isolering, lättbetong samt en gipsskiva, se Figur 29. Konstruktionen väljs då dess principiella uppbyggnad liknar den konstruktion som fibercementskivor monteras på. Genom att använda sig av en konstruktion som är beprövad av WUFI tros risken för felkällor vara mindre än om en ny oprövad konstruktion modellerats. Materialens ingående parametrar ändras därför inte på, med undantag för den undersökta fibercementskivan. Fibercementskivans materialparametrar anpassas så de stämmer överens med de skivor som undersöks, Equitone Tectiva och Cembrit Patina Original.



Figur 29: Väggkonstruktion som använts vid simulering.

För att följa fuktighet och temperatur placeras monitorer ut i fibercementskivans mitt. Monitorerna genererar data för relativ fuktighet och temperatur som sedan kan följas detaljerat. Detta gör det möjligt att följa uttorkning och uppfuktning i materialet.

För att simulera ett rimligt uttorknings- och uppfuktningsförlopp ställs luftspaltens tjocklek samt luftomsättning in. En fungerande luftomsättning varierar mellan 20–200 oms/h beroende på vilken typ av fasad och klimatsituation som används, varvid en igensatt luftspalt kan sättas till 0 oms/h. I simuleringen provas luftomsättningen i luftspalten vid 5 oms/h respektive 20 oms/h. Detta för att efterlikna en låg luftomsättning

respektive normal luftomsättning. Normal luftomsättning avser en luftomsättning likt det som föreskrivs i anvisningarna.



Figur 30: Luftomsättning i luftspalt.

Fibercementskivan som används i simuleringarna är en skiva med egenskaper och parametrar hämtade från (Equitone, 2018) samt (Cembrit, 2020). Dessa två skivor har liknande egenskaper i de avseenden som undersöks. Då simuleringen ej syftar till att undersöka en specifik skiva utan principerna uppkomna ur intervjuer, så används ett medelvärde av dessa två skivors egenskaper i de fall där de skiljer.

Basic Values	
Bulk density [kg/m ³]	1540,0
Porosity [m ³ /m ³]	0,35
Specific Heat Capacity, Dry [J/kgK]	1000,0
Thermal Conductivity, Dry, 10°C [W/mK]	0,38
Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	58,0

Figur 31: Egenskaper för simulerad fibercementskiva.

Nedan redovisas hur de egenskaper som presenteras i Figur 31 är framtagna.

Skrymdensitet (**Bulk density**) [kg/m³]

Skrymdensitet, hämtas från produktdatablad för Equitone Tectiva och Cembrit Patina Original (Equitone, 2018) (Cembrit, 2020). Skrymdensiteter är 1500 respektive 1580 för de olika materialen. Ur detta beräknas medelvärdet, 1540 kg/m³.

Porositet (**Porosity**) [m³/m³]

Porositeten som används är skenbar eller öppen porositet. Den är beräknad från sorptionsisoterm för respektive skiva då skivorna är vattenmättade. Sorptionsisoterm och dess värden är redovisade i Figur 8 och Figur 9. Porositeten anger endast de öppna porerna som kan mätas med vatten och ej de slutna porerna. Det föreligger även en risk att luft fastnat i porerna under vattenmättnaden. De slutna porerna och luftfickorna antas vara en så pass liten andel av porerna så att det kan förbises. Vidare anses att

noggrannheten på simuleringarna ej är så hög att detta kommer att ge ett felvisande resultat.

Specifik Värmekapacitet, torr (Specific Heat Capacity, dry) [J/kgK],

Specifik värmekapacitet är ej angiven i respektive produktdatablad. Liknande byggnadsmaterial har en specifik värmekapacitet på 1000 J/kgK och därför antas detta värde. (Burström, 2007)

Termisk konduktivitet, torr 10 °C (Thermal Conductivity, dry, 10 °C) [W/mK]

Termisk konduktivitet hämtas ur produktdatablad för Equitone Tectiva och Cembrit Patina Original (Equitone, 2018) (Cembrit, 2020). Termisk konduktivitet är angiven som 0.37 respektive 0.39. Ur detta beräknas medelvärdet 0.38 [W/mK].

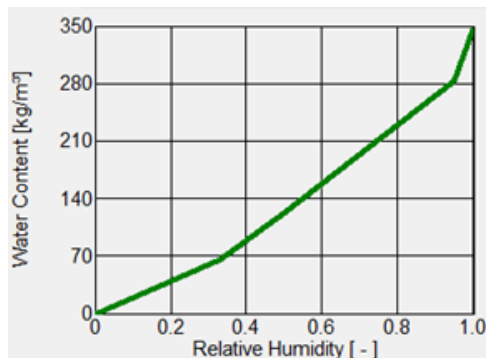
Diffusionsmotståndsfaktor (Water Vapour Diffusion Resistance Factor) [-]

Diffusionsmotståndsfaktor, även kallad μ -värde, är endast angiven för Cembrit Patina Original, 58 (Cembrit, 2020). Då skivorna i övrigt uppvisar liknande egenskaper används detta värde.

Skivans förmåga att absorbera och släppa ifrån sig fukt redovisas i sorptionskurvan i Figur 8. Kurvan tas fram som ett medelvärde från sorptionskurvor för Equitone Tectiva och Cembrit Patina Original (Jönsson & Remnetorp, 2019). WUFI tar ej hänsyn till hysteres, vilket innebär att absorption respektive desorption ej kan anges. Utifrån antagande att skivorna monteras i fuktigt tillstånd och därmed kommer torka ut, så väljs värden från skivornas desorptionskurva (Åhs, 2021).

Tabell 7. Medelvärde av uppmätt fukthalt från Figur 8 och Figur 9.

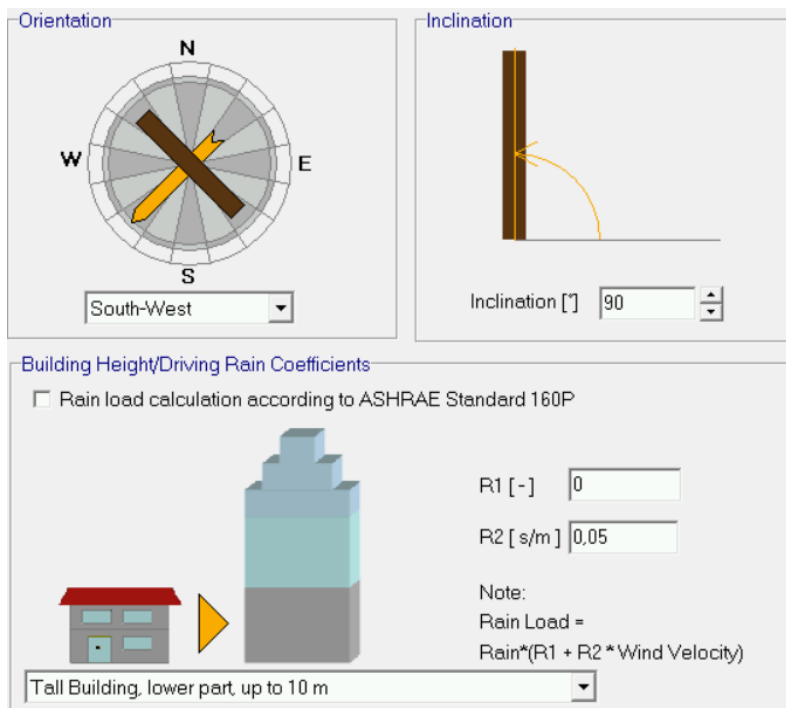
No.	RH [-]	Water Content [kg/m ³]
1	0.0	0.0
2	0.33	66.0
3	0.5	123.0
4	0.95	283.0
5	1.0	347.0



Figur 32. Sorptionskurva baserad på värden från Tabell 7.

Orientering/Lutning/Höjd

Simuleringen utgår från en vertikal, sydvästligt orienterad, fasad som antas vara 10 meter hög. Sydvästlig orientering väljs då den anses vara mest utsatt för solstrålning, vilket bidrar till undersökt uttorkning. Faktorer relaterat till nederbörd sätts till; R1=0 (vertikal vägg) och R2=0,05 (omgiven av andra byggnader), se Figur 33.



Figur 33: Fasadens orientering och placering.

Ytövergångskoefficient

Ytövergångskoefficienter beskriver ytans förmåga att exempelvis absorbera kort- och långvågig strålning och hur stor andel regn som fastnar på ytan. De ytövergångskoefficienter som används redovisas i Figur 34.

Exterior Surface (Left Side)	
Heat Resistance [m ² K/W]	0,0588 External Wall
<input type="checkbox"/> wind-dependent	<input checked="" type="checkbox"/> includes long-wave radiation parts
Sd-Value [m]	— No coating
Short-Wave Radiation Absorptivity [-]	0,6 Limestone, dark
Long-Wave Radiation Emissivity [-]	0,9 Details >>
Adhering Fraction of Rain [-]	0,7 According to inclination and construction type
Interior Surface (Right Side)	
Heat Resistance [m ² K/W]	0,125 (External Wall)
Sd-Value [m]	— No coating

Figur 34: Ytövergångskoefficienter för in - och utsida.

Begynnelsevillkor

Fukthaltens startvärde för konstruktionens olika material redovisas i Figur 35. Den konstruktion som modelleras antas vara en ny byggnad och fukthalten väljs till ”typical built-in moisture”, alltså typisk byggfukt för respektive material. Fukthalten justeras för de ingående materialen under kapitlets första avsnitt. Temperaturen anses vara konstant genom hela konstruktionen och väljs till 15 °C.

Initial Moisture in Component		Initial Temperature in Component	
<input type="radio"/> Constant Across Component <input checked="" type="radio"/> In each Layer <input type="radio"/> Read from File		<input checked="" type="radio"/> Constant Across Component <input type="radio"/> Read from File	
Assign Typical Build-In Moisture		Initial Temperature in Component [°C] 15	
Initial Water Content in Different Layers			
No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m ³]
1	Fibrecementboard (Tectiva/Patina) (unlocked)	0,008	123,0
2	Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity	0,025	0,01
3	Wood-Fibre Insulation Board	0,019	19,0
4	Cellulose Fiber (heat cond.: 0,04 W/mK)	0,2	12,0
5	Lime Silica Brick (density: 1900 kg/m ³)	0,175	100,0
6	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	0,015	400,0

Figur 35: Begynnelsevillkor för konstruktionen.

Beräkningsperiod/profiler

Simuleringen påbörjas 1 april och pågår i tre år för att konstruktionen ska stabilisera sig i jämvikt. Tidssteg för simuleringen ställs till 1 h.

Start & End / Profiles		
Calculation	Profiles	Date
Start	Profile 1	2021-04-01
End	Profile 2	2024-04-01

Time Steps[h]

Figur 36: Beräkningsperiod för simulering.

Numerik

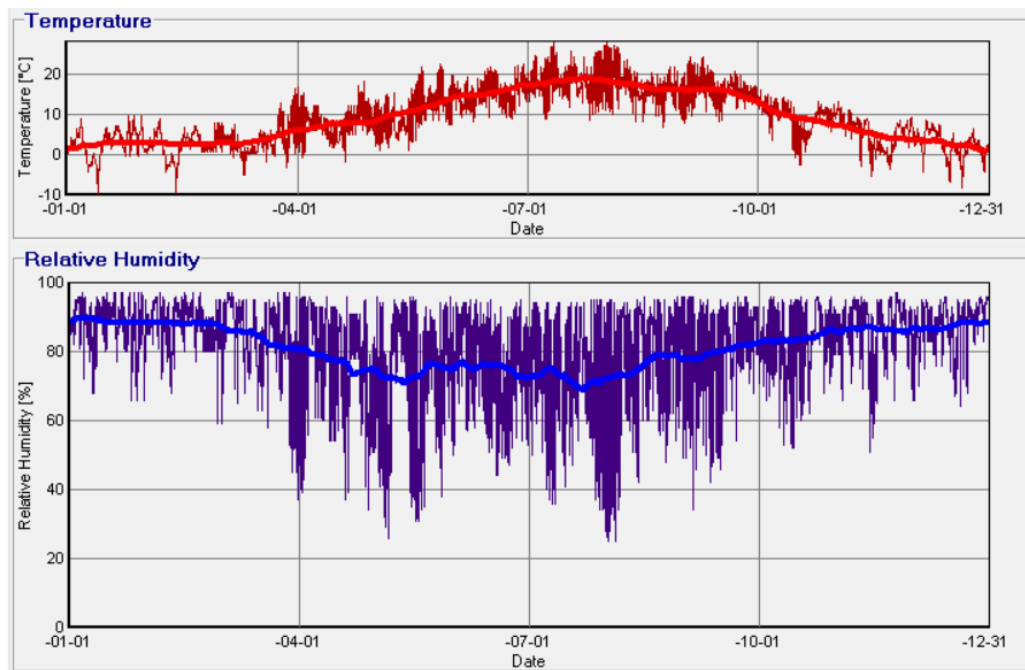
Under numerik kan justeringar av inställningar göras för att bestämma vad som beräknas under simuleringen samt med vilken noggrannhet det beräknas. Som standard beräknas både fukt- och värmetransport med hög noggrannhet och konvergensförbättring. Hur inställningar ser ut redovisas i Figur 37 och frångår inte det som angivits vid standard.

Mode of Calculation	
<input checked="" type="checkbox"/> Heat Transport Calculation	For Thermal Conductivity
<input checked="" type="checkbox"/> Moisture Transport Calculation	<input checked="" type="radio"/> Use temperature and moisture dependency
	<input type="radio"/> Use constant Design Value
Hygrothermal Special Options	
<input type="checkbox"/> Excluding Capillary Conduction	
<input type="checkbox"/> Excluding Latent Heat of Evaporation	
<input type="checkbox"/> Excluding Latent Heat of Fusion	
Numerical Parameters	
<input checked="" type="checkbox"/> Increased Accuracy	
<input checked="" type="checkbox"/> Adapted Convergence	
Adaptive Time Step Control	
<input type="checkbox"/> Enable	
Geometry	
<input checked="" type="radio"/> Cartesian	
<input type="radio"/> Radially Symmetric	

Figur 37. Inställningar som görs under Numerik.

Klimat

Det finns ett flertal klimatdata att välja mellan i WUFI. Den klimatdata som väljs för simuleringen är framtagen av Lunds universitet under perioden 1995–2005. Klimatdata är anpassad för att representera klimatet i Lund under ett normalår, se Figur 38.



Figur 38: Klimatdata för Lund framtagen av Lunds universitet (WUFI, 2018).

4.2.1.1 Simuleringar

Utifrån ovan beskrivna konstruktion genomförs fyra simuleringar där skivans fukthalt vid start samt luftspaltens omsättning varierar. Båda dessa parametrar anses vara starkt kopplade till variationer av skivans fukthalt och i förlängningen leda till rörelser i skivan.

För att undersöka hur dessa parametrar påverkar skivans fukthalt och rörelse väljs värden med premisen att jämföra ett normalt fall mot ett kritiskt fall. De värden som väljs för fukthalten är motsvarande fukthalt för 50 % RF, 123 kg/m^3 och motsvarande fukthalt för 95 % RF, 283 kg/m^3 . Normalfallet, 50 % RF väljs för att efterlikna leveransfuktkvot. Det kritiska fallet, en fukthalt motsvarande 95 % RF väljs för att simulera en stor krympning. En fukthalt motsvarande 95 % RF anses vara högt men rimligt. En hög fukthalt i skivan vid montage kan exempelvis uppkomma vid bristfällig övertäckning av skivorna på arbetsplats. För luftomsättningen väljs ett normalfall till 20 oms/h samt ett kritiskt fall med för låg luftomsättning, 5 oms/h. I Tabell 8 presenteras de fyra fall som har simulerats.

	Otillräcklig luftomsättning 5 oms/h	Normal luftomsättning 20 oms/h
Fukthalt 50%	Simulering 1.1	Simulering 2.1
Fukthalt 95%	Simulering 1.2	Simulering 2.2

4.2.1.2 Beräkning av rörelser

Utifrån den uppmätta fukthalten utvärderas de rörelser som kan uppstå i skivorna. Fuktbetingade rörelser för skivan hämtas ur Figur 17 och Figur 18 och redovisas i kapitel 2.5. I Figur 17 och Figur 18 redovisas de fuktbetingade rörelserna i förhållande till materialets fuktkvot. För att avläsa rörelser i den simulerade skivan räknas fukthalt om till fuktkvot enligt ekvation 3.

De rörelser som skivan utsätts för utgår från fuktkvot vid simuleringens start. Största krympning antas ske från fuktkvot vid start till lägsta fuktkvot och största svällning antas ske från fuktkvot vid start till högsta fuktkvot. Ur Figur 17 och Figur 18 avläses sedan krympning och svällning. Då skivornas rörelse skiljer sig för vissa intervall granskas rörelserna var för sig.

Ifall skivornas rörelse är tillräckligt stor för att det ska uppstå en spänning i skivan avgörs utifrån de toleranser som respektive leverantör har angett för håldiameter, $d_{hål}$ samt skruvdiameter, d_{skruv} , se Figur 39.

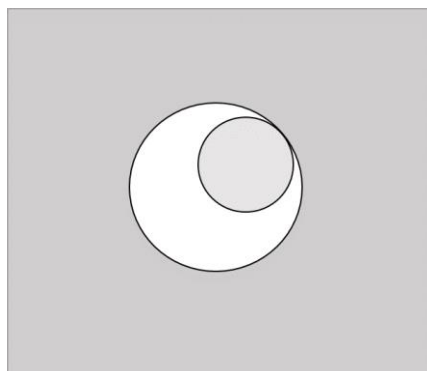


Figur 39. Skruvdiameter och håldiameter för centriskt montage av skiva.

Förutsatt att skruven monteras centriskt i skivans hål kan skivan svälla eller krympa en viss längd innan den förhindras av skivan. Tillåten rörelse beräknas enligt ekv. (7).

$$\text{tillåten rörelse} = \frac{d_{hål} - d_{skruv}}{2} \quad (7)$$

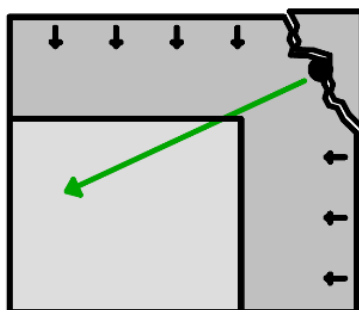
För de monteringsanvisningar som granskats i kapitel 3.2 fastställs att håldiametern är 2–3,5 mm större än skruvdiametern. Således kan skivan krympa eller svälla cirka 1–1,7 mm innan skivans rörelse förhindras av infästningen. I de fall då montering ej skett centriskt kan skivans möjlighet att svälla eller krympa vara begränsad, se Figur 40.



Figur 40. Icke centriskt montage av skiva.

Krympningen som uppstår i skivan motsvarar en töjning, se ekv. (5). Då infästningen ej monteras centriskt föreligger risken att skivan ej har möjlighet att krympa eller svälla. I det fall då skivan ej har möjlighet att krympa kommer töjningen ovan omvandlas till en spänning, se ekv. (6). För att utvärdera ifall den utvecklade spänningen kan medföra ett dragbrott, i form av sprickbildning, behöver ytterligare tester och beräkningar av skivans hållfasthet göras.

Sprickbildning har främst påträffats kring skivornas hörn. Att det är just kring skivans hörn som sprickor uppstått tros bero på att spänningen fördelas över en relativt liten tvärsnittsytta, se Figur 41. Längdförändringen som beräknas i arbetet kommer att beräknas mellan fixpunkt och skivans hörn.



Figur 41. Sprickbildning i hörn till följd av förhindrad krympning.

5 Resultat och analys

Resultatet från intervjuerna och modelleringen redovisas i detta avsnitt och insamlade data har analyserats för att identifiera de samband och orsaker som tros ligga bakom skadorna. Dessa sammanställs i tabellform samt tolkas för att få en tydligare överblick. Därutöver ges förslag för vidare utveckling och vad som bör beaktas vid montage.

5.1 Sammanställning av intervjuer

Den data som anses vara mest relevant redovisas i det här avsnitt. Resterande data hittas under Bilagor.

5.1.1 Leverantörer

I detta avsnitt redogörs de utlåtanden som samlats in vid intervjuer med representanter från två leverantörer av fibercementskivor. Utöver dessa två har ytterligare en leverantör intervjuats vars fasadskivor fästs in på liknande sätt men består av ett annat material. Anledningen till detta är för att försöka få en bättre uppfattning för hur klimatet påverkar bakomliggande konstruktion, oavsett vilket material fasadskivan består av.

I Tabell 9 sammanställs ett urval av potentiella problemfaktorer som tagits upp under intervjuer med leverantörer samt de skador som respektive faktor anses leda till. Därutöver redovisas leverantörernas ståndpunkt gällande ansvarstagande samt om leverantörernas påståenden är eniga. Detta för att skapa en uppfattning om hur utbrett respektive problem är. Utöver sammanställningen redovisas ytterligare några påstående som tagits upp under intervjun. I Bilaga redovisas hela intervjuerna i löpande text.

Tabell 9. Sammanställning av insamlade data från leverantörer. Går ej att avgöra (-).

Potentiell problemfaktor	Potentiellt problem	Potentiell skada	Är leverantörerna överens?	Vem bär ansvaret för felet?
Mörk kulör	Ökad uttorkning på grund av höga temperaturer.	Sprickbildning eller buktning av fasadskiva	Ja	-
Otillräcklig luftomsättning i luftspalten	Stor skillnad i RF på bak- och framsida	Välvning av fasadskivor	Ja	-
Solstrålning	UV-strålning	Kulören bleknar	Ja	-
Årstid vid montage	Stora längdförändringar på grund av hastig uttorkning	Sprickbildning	Ja	Entreprenör
Skarvning av läkt	Överlappning och hopsättning av läkt skapar en rörelseöverföring	Sprickbildning	Ja	Entreprenör
Ådragningsmoment	Otillräckligt respektive för hårt infäst skiva	Glappande skiva, lokal inbuktning eller sprickor	Ja	Entreprenör

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

Centrering av infästning	Ej centrerad infästning vilket förhindrar rörelser i skivan	Sprickbildning	Ja	Entreprenör
Kantavstånd	Användning av minsta tillåtna kantavstånd eller mindre	Sprickbildning i ytterkant	Ja	Entreprenör
Projektering	Otillräckliga förberedelser	Felmontage	Nej	Entreprenör / Arkitekt
Karbonatisering	Karbonatisering påskyndar välvning	Välvning	Nej	-

Det finns ett flertal faktorer som leverantörerna anser kan orsaka, eller kan bidra till, att skador uppstår på fibercementskivor. Utifrån sammanställningen kan man se att leverantörerna är överens om många faktorer och påståenden gällande fibercementskivor. Det finns dock flera påstående som de båda leverantörerna har skilda åsikter om.

Utifrån den data som samlats in tycks det inte finnas något underlag för vad som utgör en fullt tillräcklig luftspalt och läktsystem utan man utgår ifrån tidigare erfarenheter. Leverantörernas egna orsaksutredningar skiljer sig stort varvid den ena hade flera förslag på skadeorsaker medan den andra ansåg att den primära orsaken var den bakomliggande konstruktionen. Detta tyder på att det finns stora osäkerheter kring vad som verkligen ligger bakom dessa skador eftersom det bara är teorier.

En av leverantörerna redovisar fuktkvot för skivorna vid leverans. Denna anges till 8–10%, vilket motsvarar en relativ fuktighet på ca 50 %. En låg fuktkvot vid montage innebär att skivorna initialt kommer att svälla. Leverantören menar på att skivorna kan vara känsliga under perioden strax efter montage och att de gärna får akklimatiseras långsamt för att inte belasta materialet för mycket. Därmed ser leverantören gärna att skivorna monteras på hösten då uttorkningen ej anses vara lika kraftig under höst/vinter som under vår/sommar.

Vid ett projekt som undersökts har det uppstått sprickbildning för ett stort antal skivor. Leverantören menar att för just detta fall var sammansättningen för de levererade skivorna av dålig kvalitet som tros vara ett misstag från produktionen. Det råder oklarheter kring när sprickorna började uppstå då det inte uppmärksammades förrän ett flertal skivor spruckit. En tid innan sprickbildningen påträffades uppmättes höga temperaturer under längre tid som kan ha påskyndat eller orsakat den omfattande sprickbildningen.

En av leverantörerna menar på att det saknas ordentliga tester och standarder för hur fasadsystem med skivor ska/bör uppföras. Testerna som finns i dagsläget är endast för icke monterade skivor. Således finns risken att faktorer så som solstrålning, slagregn, luftspalt med flera ej testas i den utsträckning som är nödvändig. Vidare så föreslog

leverantören att en branschorganisation hade varit fördelaktigt för att skapa bättre förutsättningar för dessa typer av produkter. Genom att göra utökade tester kan man också förebygga skador och ta lärdom av varandra. Fler krav kan ställas vilket kan göra det svårare för undermåliga produkter att etablera sig på marknaden.

5.1.2 Entreprenörer

I detta avsnitt redogörs de utlåtanden som samlats in vid intervjuer med representanter från tre entreprenörer som använder sig av fibercementskivor. Syftet är att få ett perspektiv för hur omfattande skadeproblematiken är hos entreprenörerna och vad de tror ligger bakom skadorna.

Alla entreprenörer har stött på skador i fibercementskivor. Hos två av entreprenörerna är skadorna mer omfattande än hos den tredje som bara hört talas om problemet. I Tabell 10 sammanställs ett urval av de potentiella problemfaktorer som tagits upp under intervjuer med entreprenörer samt de skador som respektive faktor anses leda till. Därutöver redovisas entreprenörernas ståndpunkt gällande ansvarstagande samt om entreprenörernas påstående är eniga. Detta för att skapa en uppfattning om hur utbrett respektive problem är. Utöver sammanställningen redovisas ytterligare några påstående som tagits upp under intervjun. I Bilaga redovisas hela intervjuerna i löpande text.

Tabell 10. Sammanställning av insamlade data från entreprenörer. Går ej att avgöra ([-]).

Potentiell problemfaktor	Potentiellt problem	Potentiell skada	Är entreprenörerna överens?	Vem bär ansvaret för felet?
Mörk kulör	Ökad uttorkning på grund av höga temperaturer	Sprickbildning eller buktning av fasadskiva	Ja	Leverantör
Rörelser i skivan på grund av temperatur och fukt	Välvning och buckling	Välvning och buckling	Ja	-
Solstrålning	UV-strålning	Kulören bleknar	Ja	-
Åtdragningsmoment	Otillräckligt respektive för hårt infäst skiva	Glappande skiva eller lokal inbuktning	Ja	Entreprenör
Centrering av infästning	Ej centrerad infästning vilket förhindrar skivan	Otillräckliga rörelsetoleranser	Ja	Leverantör/ Entreprenör
Kantavstånd	Kantavståndet som använts är för litet, även om anvisning följts	Sprickbildning i ytterkant	Ja	Leverantör
Projektering	Otillräckliga förberedelser	Felmontage	Ja	Entreprenör/ Projektör
Stomme	Stor längdförändring i bakomliggande konstruktion	Sprickbildning	-	Leverantör/ Entreprenör

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

Monteringsanvisningar	Svårt att utföra ett perfekt montage utifrån de toleranser som finns	Felmontage	Ja	Leverantör
Erfarenhetsåterföring	Brist på erfarenhetsåterföring och analys av uppstående skador.	Fortsatt felmontage som kan resultera i fortsatta skador	Ja	Entreprenör

I sammanställningen kan man se att entreprenörerna till stor del är överens om vilka skador och problem som kan uppstå, men det finns oklarheter kring varför vissa av skadorna och problemen uppstår. Den mest återkommande skadan under intervjuerna var sprickbildning, och entreprenörerna gav olika teorier till de bakomliggande orsakerna; fukt- och temperaturrelser, för små toleranser, infästningar som skadar skivorna vid montage och mörka kulörer som bidrar till höga temperaturer och torkar ut skivorna.

Under intervjuerna framkom det även att i flera fall har entreprenörerna inte monterat helt enligt anvisningarna. De anser samtidigt att många av de frånstegen från anvisningarna som inträffat är så pass små att det inte borde leda till så omfattande skador. Dessutom så yttrar en av de intervjuade en osäkerhet kring att använda dessa skivor då utrymmet för felmarginal är litet och kan leda till oväntade kostnader för projekten. De menar på att monteringsanvisningarna måste garantera en robust konstruktion, vilket komplicerade monteringsanvisningar med små toleranser ej gör.

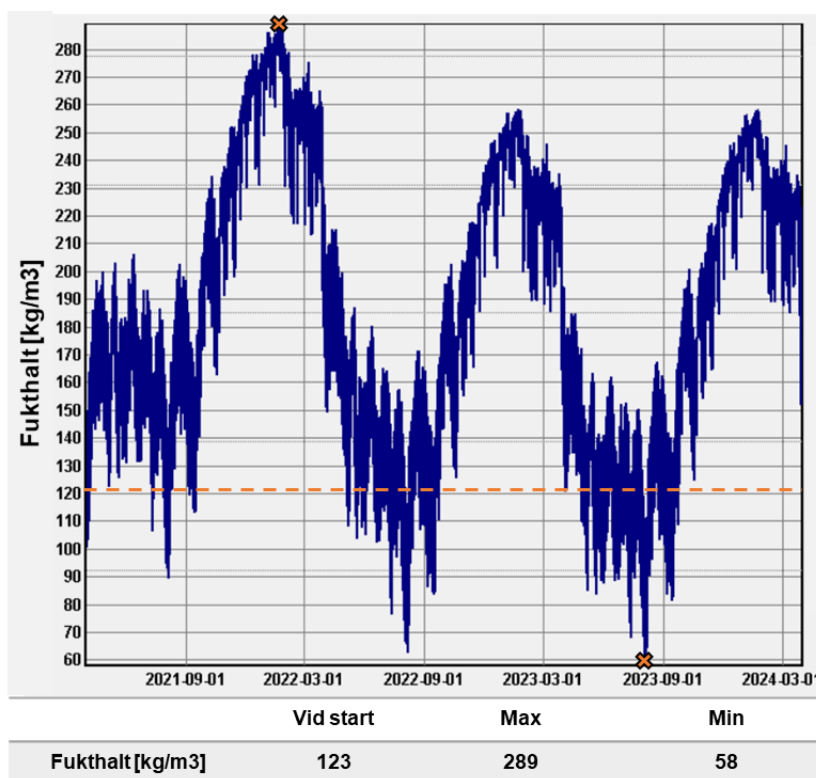
Entreprenörerna tycker att fler utredningar måste göras för olika läktsystem och stommar för att få en bättre förståelse för vilka rörelser som kan förekomma. De är öppna för att tillsammans med leverantörer förbättra produkten och montagesystemet genom att dela med sig av erfarenheter. Förhoppningen är att det kan ge leverantörerna bättre förutsättningar att förbättra produkten vilket leder till att skador kan förebyggas.

5.2 Sammanställning av modellering

För samtliga simuleringar har fukthalten i skivan över simuleringens tid redovisats, se Figur 42–Figur 45. För varje simulering redovisas även dess fukthalt vid start samt dess högsta och lägsta fukthalt. Fukthaltens startvärde är markerat i diagrammen med en streckad linje. Högsta och lägsta fukthalt är markerad med ett kryss. Utöver markeringarna i diagrammen är fukthaltens värde redovisat under varje diagram.

Simulering 1.1

- Luftomsättning: 5 oms/h
- Fukthalt: 50 % RF, 123 kg/m³

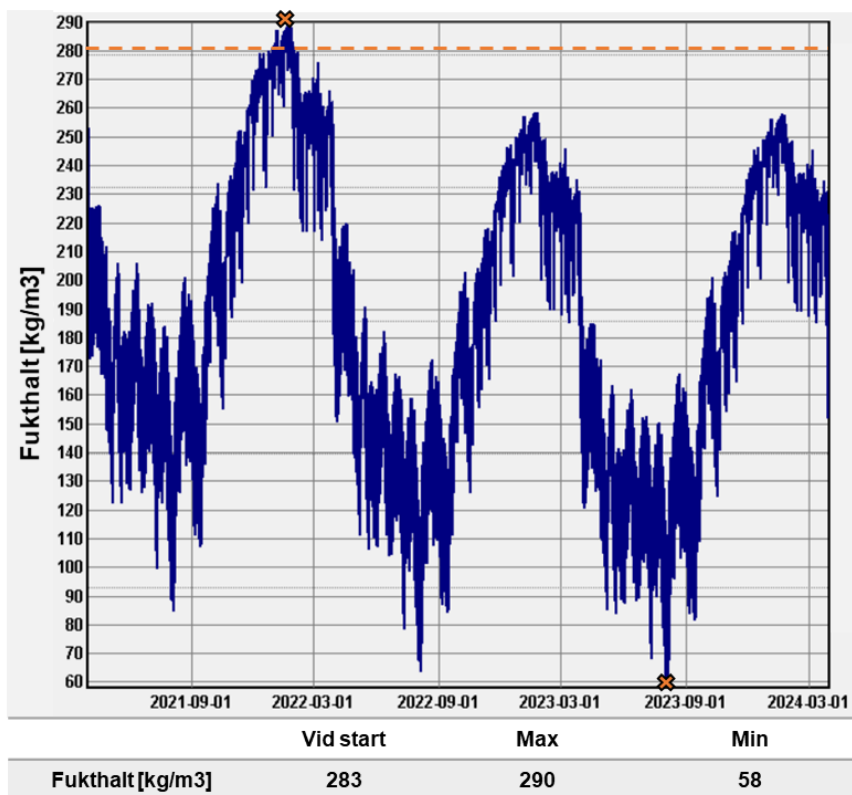


Figur 42. Fukthaltens variation under simulering 1.1.

Fukthaltens startvärde vid simulering 1.1 är 123 kg/m³. Fukthalten ökar direkt vid start av simuleringen och varierar sedan mellan ca 140 och 200 kg/m³ fram till september. Därefter så ökar fukthalten drastiskt under hösten och vintern då ånghalten i omgivande luft stiger. Under simuleringens första vinter når skivan sin högsta fukthalt, 289 kg/m³. Då simuleringen övergår till simuleringens andra vår och sommar sjunker fukthalten igen för att sedan följa ett liknande mönster. Fukthalten sjunker till sitt lägsta värde under simuleringens tredje sommar där skivan torkas ut till en fukthalt på ca 58 kg/m³.

Simulering 1.2

- Luftomsättning: 5 oms/h
- Fukthalt: 95 % RF, 283 kg/m³

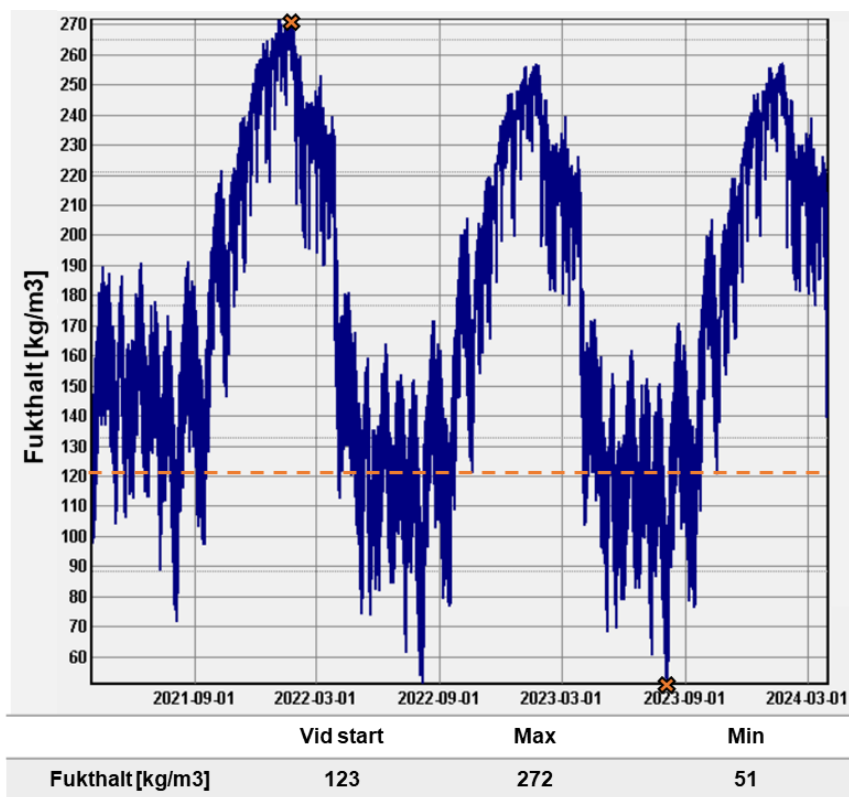


Figur 43. Fukthaltens variation under simulering 1.2.

Vid simuleringens start är fukthalten i skivan 283 kg/m³. Den sjunker snabbt ner till en fukthalt mellan cirka 180 och 225 kg/m³, för att sedan stadigt sjunka ytterligare. I augusti vänder kurvan och börjar absorbera fukt under vintermånaderna för att nå sitt högsta värde, 290 kg/m³ i januari. Under simuleringens andra år sjunker fukthalten igen och följer sedan ett liknande mönster under resten av simuleringen. Fukthalten sjunker till sitt lägsta värde under simuleringens tredje sommar, där skivan torkas ut till en fukthalt på ca 58 kg/m³.

Simulering 2.1

- Luftomsättning: 20 oms/h
- Fukthalt: 50 % RF, 123 kg/m³

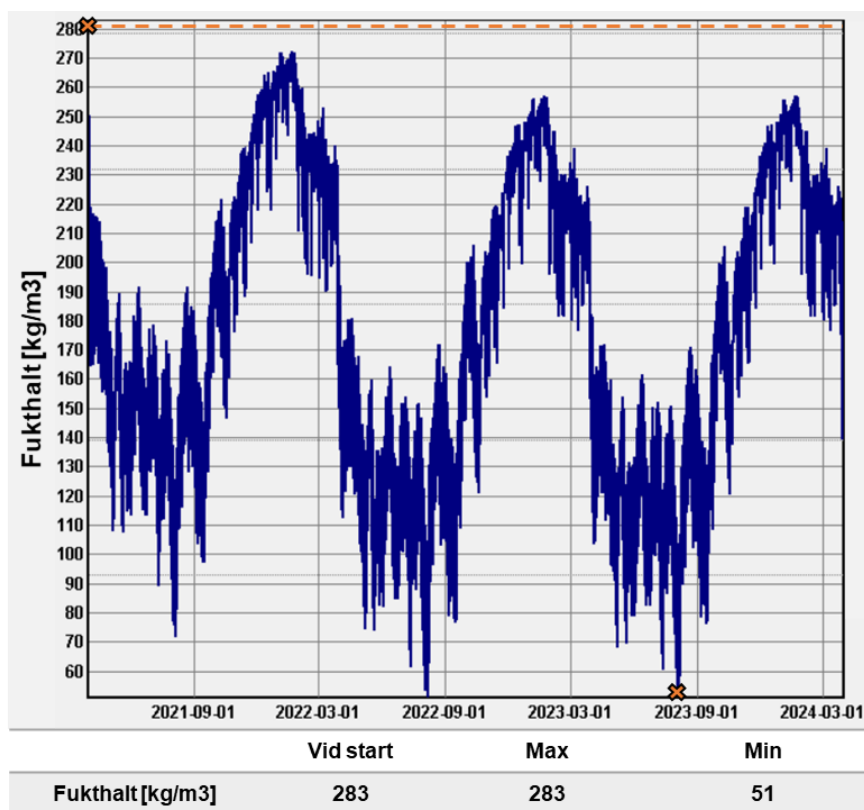


Figur 44. Fukthaltens variation under simulering 2.1.

Fukthaltens startvärde för simulering 2.1 är 123 kg/m³. Strax efter simuleringens start absorberar skivan vatten och fukthalten ökar till att variera mellan cirka 120–180 kg/m³. Fukthalten sjunker tills i augusti för att sedan öka under hösten och vintern. Under första vintern, i januari når skivan simuleringens högsta fukthalt, 272 kg/m³. Därefter sjunker fukthalten vid simuleringens andra vår för att följa ett liknande utseende under resterande del av simuleringen. Skivans lägsta fukthalt nås vid simuleringens tredje år i augusti då fukthaltens värde sjunkit till cirka 51 kg/m³. Noterbart är att fukthalten sjunker till ett nästan lika lågt värde på fukthalten redan andra året i augusti.

Simulering 2.2

- Luftomsättning: 20 oms/h
- Fukthalt: 95 % RF, 123 kg/m³



Figur 45. Fukthaltens variation under simulering 2.2.

Fukthalten i skivan vid simuleringens start är 283 kg/m³. Fukthalten sjunker kraftigt efter simuleringens start till en variation på cirka 170 till 210 kg/m³. Därefter sjunker fukthalten succesivt tills i augusti där kurvan vänder uppåt. Fukthalten stiger under hösten och vintern och uppgår till ett värde på 273 kg/m³ i januari. Kurvan sjunker igen under vår och sommar under simuleringens andra år för att sedan följa ett liknande utseende för resterande tid. Fukthalten sjunker till sitt lägsta värde, cirka 51 kg/m³, i augusti under simuleringens tredje år. Noterbart är att fukthalten sjunker till ett nästan lika lågt värde på fukthalten redan andra året i augusti.

5.2.1 Resultat från modellering

De värden på fukthalt som erhålls ur simuleringarna redovisas i Tabell 11. Fukthalten skiljer sig mellan de olika simuleringarna på ett sätt som förväntats. Då luftomsättningen är låg sker uttorkningen ej lika fort och når ej samma lägsta fukthalt som för de simuleringar då omsättningen är normal. För de simuleringar då luftspaltens omsättning är låg uppmäts även det högsta värdet på fukthalten. För de simuleringar då fukthaltens startvärde motsvarar 95 % RF sker en drastisk initial uttorkning från 283 kg/m³ till cirka 220 kg/m³. Fukthalten räknas om till fuktkvot för respektive simulering och redovisas i Tabell 12. För att avgöra storleken på skivans största längdförändring redovisas de intervall som skivan antas krympa och svälla mellan i Tabell 13. I Tabell 14 redovisas krympningen och svällningen som avläses för respektive intervall. Den största krympningen som avläses är 1,3 mm/m och påträffas för simulering 1.2 samt 2.2 då rörelser studeras på Equitone Tectiva. Den största krympningen som avläses för Cembrit Patina var 1,15 mm/m och påträffas i simulering 1.2 samt 2.2. Den största svällningen som avläses var 0,3 mm/m och påträffas för Cembrit Patina i simulering 1.1. Även för Equitone Tectiva är svällningen störst i simulering 1.1 och 2.1, där den avläses till 0,2 mm/m.

Tabell 11. Fukthalter från simuleringar.

Simulering	Fukthalt vid start [kg/m ³]	Lägsta fukthalt [kg/m ³]	Högsta fukthalt [kg/m ³]
1.1	123	58	290
1.2	283	58	290
2.1	123	51	272
2.2	283	51	283

Tabell 12: Sammanställning av fuktkvoter från simuleringar.

Simulering	Fuktkvot vid start [%]	Lägsta fuktkvot [%]	Högsta fuktkvot [%]
1.1	8,0	3,8	18,8
1.2	18,4	3,8	18,8
2.1	8,0	3,3	17,7
2.2	18,4	3,3	18,4

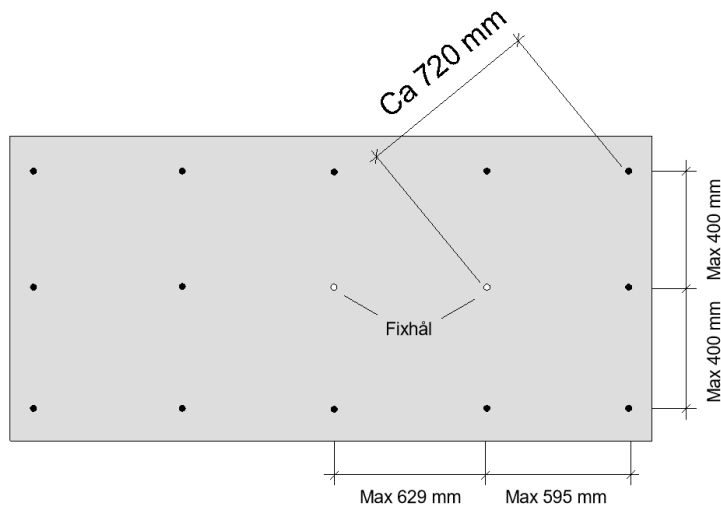
Tabell 13: Intervall för fuktkvot vid krympning och svällning.

Simulering	Intervall för fuktkvotsändring vid krympning [%]	Intervall för fuktkvotsändring vid svällning [%]
1.1	8 - 3,8	8 - 18,8
1.2	18,4 - 3,8	18,4 - 18,8
2.1	8 - 3,3	8 - 17,7
2.2	18,4 - 3,3	18,4 - 18,4

Tabell 14: Svällning och krympning för Patina och Tectiva.

Simulering	Krympning Patina [mm/m]	Svällning Patina [mm/m]	Krympning Tectiva [mm/m]	Svällning Tectiva [mm/m]
1.1	0,50	0,30	0,50	0,20
1.2	1,15	0,00	1,30	0,00
2.1	0,50	0,25	0,50	0,20
2.2	1,15	0,00	1,30	0,00

Den största krympningen som avläses är 1,3 mm/m. För krympning mot ett hörn i en standardskiva, se Figur 46, beräknas den totala krympningen till längdförändringen $\Delta L=0,9$ mm över avståndet $L=720$ mm. Förutsatt att infästningarna är centriskt monterade har skivorna en rörelsetolerans på 1–1,7 mm vid infästning beroende på vilken infästning som används. Då den största uppmätta rörelsen beräknas till 0,9 mm bör ej rörelsen förhindras om infästningen monteras centriskt. Om infästningarna inte monterats centriskt blir rörelsetoleransen mindre och medför även risken för att rörelsen förhindras och att spänningar bildas. Beräkning av spänningens storlek görs ej, se kapitel 1.4.



Figur 46. Diagonalt avstånd från fixering till hörnets infästning.

6 Diskussion

6.1 Diskussion intervjuer

I detta avsnitt granskas alla intervjuer för att klargöra vilka faktorer som potentiellt kan orsaka eller bidra till skador på fibercementskivor. Utifrån intervjuerna som genomförts ansågs respondenterna ha relativt goda teoretiska kunskaper kring hur fukt- och temperaturbetingade rörelser kan uppstå. Tabell 15 är en sammanställning av Tabell 9 och Tabell 10, innehållande vår tolkning av de mest diskuterade påståendena.

Tabell 15. Sammanställning av problemfaktorer enligt Tabell 9 och Tabell 10.

Potentiell problemfaktor	Tolkning av problemfaktorer
Mörk kulör	Mörka skivor tenderar att nå högre temperaturer vilket kan resultera i uttorkning och en större krympning. Krympningens storlek spelar vidare en stor roll för om spänningar uppstår eller ej. Om skivan blir förhindrad och krympningen fortsätter finns en risk för att skivan spricker. Att mörka skivor har större benägenhet att spricka låter således rimligt.
Välvning/Buckling	Leverantörerna menar att välvning och buckling ej är vanligt förekommande. I de fall då det har förekommit tros det vara på grund av en bristande luftomsättning i luftspalten. Då fukthalten generellt är högre i skivan är det ett rimligt antagande. Däremot så har man inte gjort några tester för att undersöka välvning och buckling närmare så det går ej att verifiera att bristande omsättning är en orsak.
Kulörförändring av fasadskiva	Att skivornas kulör bleknar med tiden av solstrålning är något som samtliga entreprenörer upplevt. Det är dock oklart i vilket utsträckning kulörförändringen förekommer. Det anses främst vara en estetisk fråga, men bör undersökas ytterligare då samtliga entreprenörer uppmärksammat det.
Årstid vid montage	Det saknas specifika riktlinjer för vilken fukthalt som skivorna ska ha vid montage, vilket gör det svårt för entreprenören att veta vid vilka förhållanden som montage skall undvikas. Om leverantören anser att det är leveransfuktkvot (som finns angiven för en av leverantörerna) som skivan skall monteras med så bör det framgå tydligare.
Skarvning av läkt	Det förekommer sannolikt fukt- eller temperaturbetingade rörelser i läkten. Om läkten är sammanfogade kommer dessa rörelser föras vidare i läktsystemet. Sammanfogning/skarvning av bakomliggande läkt kan således resultera i stora rörelser och det anses därmed rimligt att det kan leda till ökad spänning samt sprickbildning.
Stomme	En teori är att stora rörelser i stommen som läkten är monterade på kan överföras till skivorna och leda till spänning samt sprickbildning. Detta är inget som vare sig entreprenör eller leverantör har någon tydlig erfarenhet av men de anser att skulle kunna förekomma i enstaka fall. För att undvika dessa rörelser måste man anpassa utformningen så att eventuella rörelser inte förs vidare, genom exempelvis fix- och glidpunkter.
Åtdragningsmoment	Vid åtdragning av infästningar föreligger en risk att åtdragningsmomentet blir så pass stort att skivan skadas. Ytterligare så kommer en infästning som är alltför hårt åtspänd förhindra skivan från att röra sig. I de fall då åtdragningsmomentet är för lågt kan det leda till att skivan glappar och/eller vibrerar vid exempelvis vindlast. Således anses det vara viktigt att beakta, men svårt för entreprenörer att montera med perfekt resultat. För montage i ställläkt använder sig en av leverantörerna numera

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

	sig endast av pop-nit vilket medför att den kraft som infästningen monteras med kan regleras med precist.
Centrering av infästning	Att infästningen skall centreras anses vara av stor vikt. Det kommer annars skapa otillräckliga rörelsetoleranser för skivans potentiella längdförändringar. Vid användning av ställäkt menar entreprenörer på att skruven har en tendens att glida på underlaget innan den får grepp. Då den väl får grepp kan skruven "bita" fast i stålet och skruvas in snett. För att montaget skall bli centriskt anses det därmed nödvändigt att använda sig av en gummitätning för att underlätta ett centriskt montage. Även pop-nit föreslås som alternativ för centriskt montage.
Monteringsanvisningar	Monteringsanvisningarna har påpekats som en problemfaktor då de anses vara komplicerade och svåra att följa. Då nödvändiga och tillräckliga förberedelser görs innan montage bör detta ej vara något problem. Däremot så kan toleranser och liknande föreskrivna anvisningar vara otillräckliga eller svåra att uppfylla, mer om detta under 'åtdragningsmoment', 'centrering av infästningar', 'infästningar', 'kantavstånd'.
Kantavstånd	Det råder delad uppfattning om minsta möjliga kantavstånd. Leverantörerna menar att det avstånd som föreskrivs är ett avstånd från kanten som ej får överskridas, men att det gärna får ökas så att infästningen hamnar längre från kanten. De menar att entreprenörerna ofta använder sig av detta avstånd som ett faktiskt avstånd från kanten där infästningen bör placeras, vilket innebär att det i många fall överskrids då det ej finns någon felmarginal. Om det minsta möjliga kantavstånd är ett mått som ej får överskridas anser entreprenörerna att det bör förtydligas alternativt ökas för att vara på säkra sidan.
Karbonatisering	Karbonatisering anses vara en faktor som förändrar materialets egenskaper. Hur egenskaperna förändras för just fibercementskivor och i vilken utsträckning det bidrar till skador har ej kunnat fastställas under intervjuerna.
Erfarenhetsåterföring	Dokumentation och utredningar om uppstådda skador verkar ej finnas. Respondenterna delade gärna med sig av sina personliga erfarenheter, men de hade i princip ingen dokumentation att visa upp. En trolig orsak till att dokumentationen är bristfällig tros bero på att i de fall då enstaka skivor skadats väljer man att byta just den skivan och ej göra någon utredning. För att undvika framtida skador bör man bli bättre på erfarenhetsåterföring inom det egna företagen, men även mellan leverantörer och entreprenörer.

Utöver de punkter som redovisas i Tabell 15 har det även uppmärksammats att leverantörer och entreprenörer har olika uppfattning om vem som bär ansvar för uppkomsten av skador. Entreprenörerna menar att i vissa fall då skador uppkommit har det hänvisats till orsaker och anvisningar som entreprenörerna ej kan uppfylla. Exempel på orsaker är exempelvis kantavstånd och centrering av infästning, där marginalerna mellan korrekt och felaktigt montage anses vara för små. Ansvarsfördelningen är en viktig aspekt för att avgöra vilken part som ska bekosta en eventuell reparation.

6.2 Diskussion modellering

Fukthalt vid montage

Fukthalten vid montage kan ses som en referenspunkt, varifrån krympningen och svällningen utgår. Då skivan monteras i fuktigt tillstånd kommer den torka ut från en hög fukthalt till en låg fukthalt och därmed krympa relativt mycket. Monteras skivan däremot vid en medelfukthalt utifrån de variationer som skivan uppvisar, kommer

absorption och desorption vara av ungefär samma storlek och därmed ej leda till någon större rörelse. Fukthalten vid montage spelar således en stor roll i de största rörelserna som skivan utsätts för.

Otillräcklig luftspalt

En otillräcklig omsättning i luftspalten är märkbar i de simuleringar som genomförts. I simulering 1.1 och simulering 1.2, där omsättningen sattes till 5 oms/h, noteras de högsta fukthalterna. I dessa simuleringar noteras även att fukthalten ej når samma låga värde som i de simuleringar då omsättningen är normal. En otillräcklig omsättning anses ej vara av betydelse då skivornas rörelse beaktas, varken för krympning eller för svällning. Omsättningen kan dock vara av betydelse för andra aspekter, så som risk för mögelpåväxt och otillräcklig uttorkning av byggfukt.

6.3 Felkällor och begränsningar

Under arbetets gång har potentiella felkällor och begränsningar identifierats som kan påverka resultatet. Hänsyn har tagits till dessa och förhoppningsvis kan vidare studier också göra det. Nedan redovisas samtliga felkällor:

Begränsade intervjuer och data

Den insamlade data som arbetet baserats på utgörs endast av en begränsad del av de företag som är verksamma i branschen. Resultatet behöver därför inte representera hela branschens uppfattning. Om fler intervjuer genomförts och mer data erhållits tros resultatet kunna bli mer rättvisande. Vidare så finns risken att insamlade data påverkats av att respondenterna haft egenintresse eller varit antingen positivt eller negativt inställda till materialet på förhand.

Begränsad information från projekt

Det har varit svårt att ta del av dokumentation från leverantörer och entreprenörer då det i vissa fall varit sekretessbelagt. Den befintliga dokumentationen är också begränsad då erfarenhetsåterföring sällan verkar ske. Dokumentation från fler projekt tillsammans med intervjuer hade sannolikt gett en tydligare bild av vad som kan orsaka skador på fibercementskivor.

Begränsade möjligheter till mätningar

Syftet med arbetet är att undersöka fibercementskivor under verkliga klimatförhållanden. På grund av rådande situation gällande coronaviruset (Covid-19) har möjligheter till LTH:s lokaler och mätinstrument varit begränsad. Således har de ursprungliga tankarna kring fysiska mätningar ej gått att genomföra och intervjuer samt simuleringar fått ersätta.

Normalårstemperatur/RF

I modelleringen har klimatdata från Lunds universitet valts som baseras på klimatdata från Lund. Valda klimatdata antas vara korrekt och spegla ett normalår väl. För att analysera sprickbildning och extrema klimat skulle en annan klimatdata kunnat

användas, förslagsvis från sommaren 2018 som uppgavs som en väldigt varm sommar under intervjuer. Även val av annan fasadorientering tros påverka resultatet då mängden solstrålning är annorlunda.

Parametrar i simuleringar

Val av parametrar under simuleringen har gjorts för att efterlikna ett verkligt scenario. De baseras på tidigare studier, generella materialegenskaper och i vissa fall ingenjörsmässiga bedömningar i samråd med handledare. Därutöver har parametrar från sorptionsisotermen ur Figur 8 och Figur 9 varit begränsade till endast fyra värden, samt att hänsyn ej tagits till hysteres. Då det är många olika val som gjorts finns det en risk för felkällor. Felkällorna anses vara små och endast påverka resultatets noggrannhet för specifika mätvärden, men ej modelleringens principiella resultat.

7 Slutsats

Vilka faktorer kan bidra till sprickbildning?

Det kvarstår oklarheter kring vilka faktorer som definitivt orsakar skador. Däremot kan faktorer som tros bidra till sprickbildning identifieras. Nedan redovisas de mest troliga faktorerna utifrån arbetets resultat.

Fuktbetingade rörelser

Utifrån modelleringens resultat kan det fastställas att det förekommer fuktbetingade rörelser i skivorna och att det kan resultera i en spänning. Det går däremot inte att fastställa ifall de rörelser som uppstår är tillräckligt stora för att bidra till sprickbildning.

Icke centrisk montering

Infästningarnas placering i hålen tycks ha stor betydelse för om skivans tolerans mot längdförändring är tillräcklig. Man bör därför vara noggrann vid montage så att största möjliga rörelse tillåts.

Minsta kantavstånd följs ej vid montering

Sprickbildning i hörn tycks vara vanligt förekommande och härleds ofta till att ett för litet kantavstånd används. Det är därför viktigt att man använder sig av det minsta tillåtna kantavståndet alternativt ett större avstånd för att undvika sprickbildning.

Hur stor inverkan har fuktbetingade rörelser på fibercementskivor?

De rörelser som beräknats under modelleringen anses kunna leda till en spänning i monterade skivor. Rörelserna anses ej vara så stora att de leder till sprickbildning då skivan monterats korrekt. Storleken på de rörelser som uppmätts är starkt förknippad till den fukthalt som skivan har vid montage. Det anses därför viktigt att sträva efter att montera skivan då dess fukthalt har ett medelvärde av den fukthaltsvariation som skivan kommer utsätta för under dess livslängd. Utifrån genomförd simulering antas detta medelvärde vara kring 160 kg/m^3 , vilket motsvarar cirka 60 % RF. Mest troligt är att sprickbildning uppstår då skivorna monterats felaktigt, enligt ovan beskrivna faktorer, i kombination med extrema väderförhållanden.

Vilka ytterligare faktorer kan orsaka skador på fibercementskivor monterad i fasad?

Utifrån intervjuerna kan man identifiera flera faktorer som tros leda till att skador uppstår, där den främsta är att man frångått monteringsanvisningar. Utöver de faktorer som nämns ovan, så som centrisk infästning och minsta kantavstånd tros skarvning av läkt, åtdragningsmoment samt att använda sig av leverantörernas ej föreskrivna produkter potentiellt leda till skador. För att undvika skador orsakade av nämnda faktorer skulle leverantörer kunna undersöka hur deras monteringsanvisningar kan göras tydligare så att inga oklarheter uppstår.

Förslag på åtgärder

Utöver de slutsatser som dragits ovan följer här förslag på åtgärder som kan göras av både leverantörer och entreprenörer för att få en bättre förståelse för hur skador uppkommer.

Erfarenhetsåterföring

En bättre erfarenhetsåterföring och ökad dokumentation av uppkomna skador krävs för att man ska få en bättre förståelse för problematiken kring skivorna. Ju mer erfarenhetsåterföring som görs, desto enklare är det att identifiera vad som är orsaken till skadan. Transparens mellan inblandade aktörer, där entreprenören delar med sig av sina erfarenheter med leverantören, hade varit till fördel för utveckling av produkten.

Utökad testning

Utökad testning för att få klarhet i vilka rörelser som kan förekomma i produkten och i de föreskrivna läktsystemen. Det hade resulterat i att man kan få en bättre förståelse för konstruktionen och förhoppningsvis utesluta teorier kring skador som tros uppstå på grund av detta.

8 Vidare studier

För att kunna dra slutsatser kring vad som orsakar skador i fibercementskivor bör vidare studier och testning, under verkliga klimatförhållanden, göras kring de problemfaktorer som arbetet tagit upp. Förslagsvis skulle experimentella studier kunna verifiera eller utesluta flera problemfaktorer.

Genom att bygga upp en väggprototyp som motsvarar en föreskriven konstruktion och utsätta denna för extrema klimatförhållanden, så som kraftig uppfuktning samt kraftig uttorkning, kan en tydligare bild skapas för vilka problemfaktorer som är kritiska. Att genomföra studier på en väggprototyp tros vara en bra utgångspunkt då det går att anpassa fler studier utifrån denna. Resultaten från en väggprototyp tros ge mer rättvisande resultat än datorsimuleringar.

Fibercementskivorna testas enligt SS-EN 12467:2012+A2:2018 där ett antal parametrar undersöks. Syftet är att dessa parametrar ska efterlikna verkliga förhållanden. Då det endast är skivan som prövas går det inte fullt ut fastställa hur skivan beter sig i ett system och om byggnadens stomme och läkten har någon inverkan.

Hastig uttorkning av vattenmättad fibercementskiva för att undersöka ifall det har någon betydelse för krympningens storlek.

För att utreda under vilka förhållanden som sprickbildning uppstår behöver man undersöka skivornas draghållfasthet. Detta görs förslagsvis genom att genomföra dragprov i de riktningar som spänningen tros uppstå (från skivans fixpunkt till infästningar runt kanterna). Den spänning som faktiskt uppstår i materialet på grund av rörelser är direkt kopplad till variationer i omgivande fukthalt. För att undersöka ifall dessa variationer i fukthalt kan medföra ett utmattningsfenomen bör även utmattningsprov genomföras.

I vår studie undersöks fuktrörelserna i skivorna med avseende på de toleranser som finns mellan skiva och infästning. Genom att även studera hur infästningarna rör sig i förhållande läktens rörelse kan våra slutsatser kompletteras.

Eftersom den rådande situationen begränsat möjligheterna för praktiska tester och mätningar ser vi gärna att vidare studier görs för just detta. Genom att exempelvis genomföra skadeutredningar för projekt med befintliga skador bör potentiella orsaker bli tydligare att identifiera. Detta, tillsammans med ovanstående förslag tros kunna bidra till att förebygga eller utesluta skador på fibercementskivor.

Referenser

- Adamson, B. & Hidemark, B., 1986. *Utformning av lågenergihus*. ISBN 91-540-4471-5 red. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Akers, S., 2010. Cracking in fibre cement products. *Construction and Building Materials*, 30 September, pp. 202-207.
- Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok: Praktik och teori*. 4 red. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Burström, P. G., 2007. *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. ISBN 9789144027388 red. Lund: Studentlitteratur.
- Cembrit, 2020a. *Monteringsanvisning för nitar på ställäkt*. [Online]
Available at: <https://www.cembrit.se/download/binary/22531>
[Använd 12 April 2021].
- Cembrit, 2020b. *Monteringsanvisning träläkt*. [Online]
Available at: <https://www.cembrit.se/download/binary/22533>
[Använd 12 April 2021].
- Cembrit, 2020. *Cembrit Patina Original Produktdatablad*, u.o.: Cembrit.
- Cembrit, u.å.. *Cembrit Patina Original*. [Online]
Available at: <https://www.cembrit.se/fasadskivor/authentic/cembrit-patina-original>
[Använd 1 Juni 2021].
- En-Hua Yang, V. C. L., 2010. *Strain-hardening fiber cement optimization and component tailoring by means of a micromechanical model*, Michigan: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, 48109-2125 MI, United States.
- Equitone, 2018a. *Planning & application guide*. [Online]
Available at: <https://equitone-comv1-prod.hubster.etexwebplatform.com/siteassets/documents/equitone-planning--application-guide-uk.pdf?v=4a455f>
[Använd 16 April 2021].
- Equitone, 2018. *Equitone Produktdatablad*, u.o.: Equitone.
- Equitone, u.å. *Equitone Tectiva*. [Online]
Available at: <https://www.equitone.com/sv-se/cladding-material/tectiva/>
[Använd 1 Juni 2021].
- Europrofil, 2017. *Yttervägg Projekterings- och montageanvisning*. [Online]
Available at:
https://www.europrofil.se/files/Montering/YV/Yttervagg_Projektering_montageanvisning_SE.pdf
[Använd 1 Juni 2021].
- Europrofil, u.å.. *Systembeskrivning Recon Original*. [Online]
Available at: <https://www.europrofil.se/sv/system/fasadsystem-recon/recon-original>
[Använd 16 April 2021].
- Falk, J., 2010. *Ventilerad luftspalt i yttervägg : luftomsättningar och konvektiv fukttransport*, Lund: Lund University.
- Heyden, S., Dahlblom, O., Olsson, A. & Sandberg, G., 2017. *Introduktion till strukturmekanik*. 5:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.

- Isover, u.å.. *YT:32 Träregelevägg med ventilerad putsfasad*. [Online]
Available at: <https://www.isover.se/solutions/yt32-traregelvagg-med-ventilerad-putsfasad-rei30-53-58-db>
[Använd 16 April 2021].
- Jönsson, A. & Remnetorp, D., 2019. *Fukt- och temperaturrelöser i fasad- och vindskyddsskivor*, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avd Byggnadsmaterial.
- K. K., 2005. *Karlsborgs Kommun*. [Online]
Available at: <https://www.karlsborg.se/globalassets/documents/politiskt-beslutade-styrdokument/ekonomi-och-budget/ovriga-ekonomiska-styrdokument/investeringspolicy-for-karlsborgs-kommun.pdf>
[Använd 8 April 2021].
- Mundt-Petersen, S., 2015. *Moisture Safety in Wood Frame Buildings - Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety*, <https://wufi.de/literatur/Mundt-Petersen,%20Harderup%20-%20Validation%20of%20a%20One-Dimensional%20Transient.pdf>: Lund University.
- Mundt-Petersen, S. O. & Harderup, L.-E., 2013. *Validation of a One-Dimensional Transient Heat and Moisture Calculation Tool under Real Conditions*, u.o.: Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XII International Conference.
- Nilsson, L.-O., 2004. *Fuktpåverkan på material : kritiska fuktnivåer (en informationskrift)*, Lund: Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.
- Nordskiffer, u.å. *Skiffer vs fibercement*. [Online]
Available at: <https://www.nordskiffer.com/teknik-info/om-skiffer/skiffer-vs-fibercement/>
[Använd 23 Juni 2021].
- Sandin, K., 2010. *Praktisk byggnadsfysik*. ISBN:9789144059914. red. Lund: Studentlitteratur.
- Silfwerbrand, J. & Sundquist, H., 1998. *Drift, underhåll och reparation av konstbyggnader*. ISSN 1103-4289 red. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- SIS, 2018. *SS-EN 12467:2012+A2:2018, Takprodukter – Släta plattor av fibercement – Krav och provningsmetoder.*, Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SMHI, 2013. *SMHI*. [Online]
Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910>
[Använd 20 Maj 2021].
- Steni, u.å. *Steni Nature*. [Online]
Available at: <https://www.steni.se/produkter/fasadskivor/steni-nature/>
[Använd 23 Juni 2021].
- Swisspearl, u.å. *Largo Planea*. [Online]
Available at: <https://www.swisspearl.se/products/nya-produkter/swisspearl-largo-planea/>
[Använd 23 Juni 2021].
- Träguiden, 2019. *Ytbehandling*. [Online]
Available at: <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/ytbehandling/>
[Använd 2 Maj 2021].

WUFI, 2018. *WUFI*. [Online]

Available at: <https://wufi.de/en/>

[Använd 10 Februari 2021].

WUFI, 2021. *What is WUFI?*. [Online]

Available at: <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>

[Använd 8 April 2021].

Åhs, M., 2021. *Samtal om WUFI* [Intervju] (24 Maj 2021).

Bilagor

Bilaga A

Intervjumall - Leverantör

Frågor kring testning:

- Vilka tester görs på era produkter, både innan lansering och löpande?
- Är skivorna testade för olika temperaturer och fukthalter?
- Hur testar ni att ventilationen är tillräcklig bakom fasaden, för att säkerställa att den är tillräcklig?
- Hur vet ni att era produkter fungerar i olika fasadssystem?
- Hur många cykler klarar materialet?

Frågor kring skador:

- Har ni erfarenhet av sprickbildning, buckling, välvning eller liknande fenomen i fibercementskivor?
- Vad tror ni ligger till grund för problemen?
- Vad brukar vara det vanligaste felet och orsak?
- Vilken väggprofil har minst respektive flest problem, stål-, trä- eller aluminiumläkt?
- Hur ser ni på defekter som är orsakade av välvning och buckling?
- Har skivornas färgval någon betydelse när det gäller temperatur?
- Är det något specifik skiva som haft mer, eller inga skador?
- Har det varit en viss typ av stomme som varit mer skadedrabbad?
- Nuvarande eller tidigare reklamationer/garantiärenden?
- Kan vi få ta del av dokumentation från reklamationer?

Frågor kring tillverkning:

- Hur tillverkas skivorna?
- Finns det kända problem som kan uppstå vid och efter tillverkning?

Frågor kring utveckling och framtid:

- Vad tror du behövs göras för att säkerställa att olika fasadmaterial som lanseras kommer fungera från början?
- Vad tycker ni om projekteringsfasen för fasaden, beaktas konstruktionen tillräckligt?

Bilaga B

Intervjumall - Entreprenörer

Frågor kring skador:

- Har ni erfarenhet av sprickbildning, buckling, välvning eller liknande fenomen i fibercementskivor?
- Vad tror ni ligger till grund för problemen?
- Vad brukar vara det vanligaste felet och orsak?
- Vilken väggprofil har minst respektive flest problem, stål-, trä- eller aluminiumläkt?
- Hur ser ni på defekter som är orsakade av välvning och buckling?
- Har skivornas färgval någon betydelse när det gäller temperatur?
- Är det något speciellt fabrikat eller skiva som haft mer, eller inga skador?
- Har det varit en viss typ av stomme som varit mer skadedrabbad?
- Vem landar kostnaden på vid uppkommen skada?
- Nuvarande eller tidigare reklamationer/garantiärenden?
- Kan vi få ta del av dokumentation från reklamationer?

Frågor kring montering:

- Vad gör ni med skivorna vid leverans, innan montage sker?
- Generell uppfattning av monteringsanvisningar?

Frågor kring utveckling och framtid:

- Vad tror du behövs göras för att säkerställa att olika fasadmateriell som lanseras kommer fungera från början?
- Vad tycker ni om projekteringsfasen för fasaden, beaktas konstruktionen tillräckligt?
- Generell uppfattning av produkten?

Bilaga C

Datainsamling - Leverantör

Datainsamlingen är generaliserad för att respektive leverantörs utlåtande ej skall kunna gå att identifiera. Detta är bland annat på grund av att mängden insamlade data skiljer sig mellan leverantörerna och att viss utgiven information direkt kan kopplas till en leverantör. Leverantörernas eventuellt skilda eller gemensamma åsikter kommer fortfarande att kunna utläsas vilket anses vara det primära syftet. Det blir därför meningslöst att kategorisera de olika leverantörernas utlåtande. En sammanfattning i detta utförande anses således mest rättvis.

Luftomsättning

Den relativa luftfuktigheten bakom fasadskivorna kommer alltid att variera över tid. Detta beror på att fuktkonvektion förekommer på fasadskivornas baksida, att fasadskivornas fukthalt ökar när det utsätts för regn samt genom otätheter i fasaden.

Om luftomsättningen i luftspalten är för låg så kommer den tillkomna fukten ej att kunna ventileras bort i tillräcklig utsträckning vilket kan resultera i att fukt tränger in i konstruktionen. En ökad fukthalt i luftspalten kan bland annat leda till längd- och volymförändringar i fibercementskivan och mikrobiell påväxt på bakomliggande material, vilket kan resultera i skador. Vad som anses vara en tillräckligt dimensionerad luftspalt för att fukt- och temperaturlöslig problem ej skall uppstå är inte befogat i den bemärkelsen att tester gjorts för just denna konstruktion. En av leverantörerna berättade att man istället utgår från tidigare erfarenheter och vad andra leverantörer föreskriver. Man anser att denna metod är fullt tillräcklig.

Utöver ett önskat fukttillskott i konstruktionen menar en av leverantörerna att en otillräcklig luftomsättning kan leda till att karbonatisering i materialet påskyndas. De anser att detta i sin tur kan leda till att sannolikheten för att välvning uppstår ökar, främst för skivor i mörk kulör.

Hur välvning uppstår är något som de båda leverantörerna av fibercementskivor är eniga om. Dock skiljer sig deras syn på hur man förebygger detta. Den ena leverantören har aldrig varit med om något projekt där välvning uppstått. De menar på att anledningen till att välvning ej förekommit är för att de förebyggt detta. Det har gjorts genom att ytbehandla skivorna. För den andra leverantören har välvning förekommit. Anledningen till detta anses vara att luftspalten varit helt eller delvis igensatt. De påstår att en ytbehandlad skiva får ett annorlunda beteende under välvning gentemot en obehandlad. En ytbehandlad skiva kommer att få ett irreversibelt buktande utseende medans den obehandlade kommer återgå till sitt ursprungliga läge, när förhållandena tillåter detta. De anser således inte att en ytbehandling ger ett tillräckligt skydd mot välvning.

Leverantörerna anser att de har en god förståelse för deras produkters materialegenskaper och deras begränsningar. Deras uppfattning kring hur en ytbehandling fungerar skiljer sig dock.

Skivornas kulör

Leverantörerna är eniga om att skivor i mörk kulör har en större benägenhet att nå högre temperaturer än vad ljusa kulörer gör och att det resulterar i en större längdförändring. Däremot argumenterar den ena leverantören för att det inte är helt oproblematiskt med en ljus kulör. De menar på att en skiva i ljus kulör kan ha svårt att uppnå tillräckligt hög temperatur. En för låg temperatur i skivan anses leda till att även luftspalten blir undertempererad. Det leder till att luftomsättningen i luftspalten riskerar att bli otillräcklig vilket resulterar i ett för stort fuktillskott i konstruktionen.

Generellt sett så är leverantörernas åsikter kring skivornas kulör lika, bortsett från att den ena leverantören även identifierat risker hos ljusa kulörer.

Orientering

Att klimat och orientering är en väsentlig faktor för hur fibercementskivorna påverkas är leverantörerna eniga om. Det mest uppenbara som kan identifieras är att skivorna kan blekna till följd av UV-strålning. En av leverantörerna menar att strålningsangrepp är väldigt svårt att hantera och att blekning inte går att eliminera helt. Det som görs för att förebygga detta i största mån är att lackera skivorna. De anser dock att detta endast påverkar skivan estetiskt och inte dess prestanda.

Läktsystem och infästningar

Det finns olika läktsystem som skiljer sig åt i både material och utförande, vilket gör att de också beter sig olika. Läkt av galvaniserat stål och aluminium är temperaturberoende och har ett omvänt rörelsemönster gentemot vad en fibercementskiva har under en pågående temperaturförändring. Fukt är därför inte något som läkten är känsliga för. Träläkt har istället liknande rörelsemönster som fibercementskivan och är både fukt- och temperaturberoende. Trä är främst känsligt för fukt eftersom det kan leda till att materialet till slut ruttnar om det finns otätheter i fasaden. En förhöjd temperatur påskyndar däremot uttorkningen i materialet.

En av leverantörerna medgav att de tagit fram deras läktsystem i stål tillsammans med profiltillverkare, bland annat Europrofil. Dimensioneringen har sitt ursprung från beprövade metoder och deras långa erfarenhet. Som tidigare nämnts så har man inte utförts några tester på uppförda typväggar för att testa hur robust fasadsystemeten är. Man utgår i stället ifrån att sin långa erfarenhet räcker till för att uppskatta ett hållfast läktsystem. Aluminiumläkt är något som inte används så frekvent i Sverige menade en av leverantörerna. De ser dock att det börjar bli mer populärt. Vid framtagning av läktsystem i aluminium samarbetar de med profilleverantörer från Tyskland och Belgien, Eurofox med flera.

Olikheter finns även hos infästningstyperna. Träskruven anses vara mer eftergivlig för rörelser i sidled vilket gör den mer mottaglig för eventuella rörelser i skivorna. Vid

användning av träläkt möjliggörs en enklare centrering av skruven vid montage eftersom underlaget är mjukare.

Vid användning av ställäkt så kan man välja mellan olika infästningstyper. Antingen avstår man från att förborra skivan och istället använder sig av hålförstorande skruv. Dessa skruvar gör hål i skivan och samtidigt som de fäster skivan i läkten. Leverantörerna tycker att denna infästningstyp är väldigt kraftig. De menar på att det kan finnas risk för att man gör hål både i skiva och läkt.

Om skivan är förborrad innan montage så kan vanliga skruvar användas. Dessa skruvar har en tendens att vandra på ytan innan den greppar tag i läktet. Det finns därför risk för att skruven inte blir centrerad i hålet och att skruven får en vinkel. Vinkeln gör att rörelsetoleranser blir mindre och att skruven i värsta fall kan ligga an mot skivan.

De nämnda infästningstyperna för ställäkt används i liten utsträckning då man hittat bättre alternativ. Leverantörerna rekommenderar främst pop-nit. Pop-nit anses vara enklare att centrera i hålet, särskilt om tillhörande gummitätning används. Man har också möjlighet att ställa in åtdragningsstyrkan.

Något som alla leverantörer är eniga om är att läktsystemet och stommens rörelser eventuellt kan vara orsaken till sprickbildning i skivorna. Det beror på att man stött på skador där man valt att skarva och fästa ihop läkten. Denna överkragning anses leda vidare rörelser i läktsystemet som kan resultera i sprickbildning. Rörelserna tros utvecklas på grund av längdförändringar i läkten eller av stommens rörelser. Ett exempel där stora rörelser förekommer är i väggelement för pelarstomme. En av leverantörerna har stött på flera skador i denna konstruktion eftersom elementen tenderar att bukta. Vertikala sprickor uppstår då skarven placerats i samma linje som väggelementen möts.

Läkt- och stomrelaterade rörelser anser leverantörerna att de har tillräckligt bra koll på och att åtgärder gjorts för detta vilket är angivet i monteringsanvisningarna.

Tillverkning och materialegenskaper

Leveranstiden från att skivan producerats till att den anländer på en arbetsplats kan i bästa fall vara 15 dagar enligt en av leverantörerna. Skivornas fuktkvot påstås vara ungefär 8–10% vid leverans och måste tas väl om hand, gärna förvaras inomhus alternativt monteras strax efter leverans. Det finns inga angivelser för en specifik fukthalt i skivan som anses vara undermåttlig vid ett montage och inte heller för vilket klimat som rekommenderas vid ett montage. De vill säga att det är entreprenören som beslutar om förutsättningarna är tillräckligt bra för att påbörja ett montage.

En av leverantörerna ansåg att deras skiva är mer mottaglig för uppfuktning än uttorkning, en skillnad på faktor 3. Leverantörerna anser att man bör montera skivorna då klimatet är mer jämnt, med så få stora temperaturförändringar som möjligt. Det gör

det möjligt för skivan att acklimatisera sig med omgivningen innan höga temperaturer uppstår. Det mest optimala scenariot anses vara att montage sker under hösten, långt innan sommarens kraftiga solstrålning. Värsta scenariot är att montera skivorna nära inpå eller under sommaren. Detta beror på att skivan kommer utsättas för stora påfrestningar i form av uttorkning innan skivan hunnit acklimatisera sig. Den initiala uttorkningen efter montage anses vara störst och är därför inte lämpad att påskyndas genom att utsätta skivan för ett särskilt tufft klimat.

En av leverantörerna hävdade att fibercementskivorna alltid kommer att krympa och att det är något man måste beakta vid utformningen, både strukturellt och estetiskt. Krympningen tycks vara oregelbunden och att de inte vet varför. För att begränsa krympningens omfattning görs noggranna kontroller innan utleverans för att säkerställa skivornas densitet, som har en stark koppling till materialets volymbeständighet.

För en av leverantörerna förekom ett stort antal reklamationer under våren och sommaren 2018. Vid denna period kom en kraftig temperaturökning, utöver det vanliga. Leverantören anade att detta skulle kunna kopplas till de skador som uppstod. Dock såg man ett samband där reklamationer gjordes av en specifik modell av skiva där sprickor uppstod. Skivornas ursprung kunde härledas till en underleverantör utomlands vars fabrik precis byggts om. De påstod att tillverkningen ej hade blivit förändrad vilket verkade osannolikt menade leverantören. Sammanfattningsvis ansåg leverantören att det inte berodde på den kraftiga temperaturökningen utan att det var produkten som var dålig under denna tid. För att undvika liknande scenarion valde leverantören därför att utveckla sina egna fabriker och sluta att använda sig av underleverantörer för att säkerställa kvalitén.

Utvecklingsmöjligheter

En av leverantörerna föreslog att man bör starta en branschförening för fasadskivor, där aktörerna går samman och skapar bra förutsättningar och en schysst marknad. Detta skulle minska mängden importerade material som inte håller tillräcklig standard gällande hållfasthet och hållbarhet. Utöver detta skulle man vilja att det fanns mer kravställningar på de fasadsystem som säljs. I nuläget finns det endast testning för enskilda fasadskivor och inte i ett monterat läge med sitt föreskrivna läktsystem. Utöver detta finns CE-märkning vilket anses vara simpelt att erhålla och behöver kompletteras. Därför bör en utökad testning göras för en verklig vägg där leverantören föreslog att man testar hur robust och vattentätt fasadsystemet är. Detta är något som leverantören är öppen för och anser att det skapat bättre förutsättningar för produkten.

Leverantören tycker också att det bör ställas högre krav på aktörer i projekterings tidiga skede, särskilt arkitekten. Arkitekten tycks ha för liten förståelse för hur viktig utformningen är vid val av en specifik fasadskiva. Utformningen blir därför otillräcklig då helhetsbilden saknas. Det gör att oklarheter uppstår i ett senare skede och att de förutsättningar som behövs för ett korrekt montage saknas. När reklamationer uppstår på grund av ovanstående händelser hamnar de ofta hos leverantören och de förväntas stå

till svars. Men leverantören menar på att ansvaret bör ligga i tidigare skeden då de skador som uppstått ofta går att härleda dit. Utvecklingen för att branschen skall få en bättre förståelse för detta går långsamt och en viss frustration skapas hos leverantörerna.

Varför uppstår problemen?

Det finns ett flertal händelser som leverantörerna anser orsakar, eller bidrar till, att skador uppstår på fibercementskivor. Den främsta orsaken som båda leverantörerna lyfter fram är handhavandefel från entreprenören. Leverantörernas monteringsanvisningar föreskriver olika läktsystem och diverse tillbehör så som skruvar och gummilister. I vissa fall frångår entreprenören dessa föreskrivna produkter och använder sig av, vad de anser, likvärdiga produkter. Dessa produkter är oftast inte lämpade för fibercementskivorna vilket kan resultera i att konstruktionen inte blir lika robust. Ett vanlig förekommande är att man gör frånsteg från monteringsanvisningen gällande luftspalt. Luftspalterna kan delvis, eller helt, sättas igen vid exempelvis fönster. Detta gör att luftomsättningen i luftspalten blir otillräcklig och att sannolikheten för skador på grund av fukt uppstår.

Infästningarna kräver hög noggrannhet för att bli centrerade i hålen. Det kan därför hända att man slarvar med detta vilket gör att skivans rörelsetoleranser minimeras. Något annat man tenderar att missa är antalet infästningar som krävs i randzoner. För få infästningar kan i dessa extra utsatta områden, i värsta fall, resultera i att skivor lossnar då de inte varit tillräckligt fästa.

Som tidigare nämnts så åtdragningsstyrkan för infästningarna viktig, främst för ställläkt. Om skruvarna åtdragningsmoment blir högre än vad som föreskrivits kan skivan bli för hårt inspänd. Detta kan riskera i att skivan spricker, hindras från att röra sig eller att skivan får en lokal buktning inåt runt infästningarna. Att istället understiga åtdragningsmomentet kan riskera att skivan blir otillräckligt infäst och riskera att glappa, alternativt lossna under vindsug.

En av leverantörerna menar också på att entreprenören ofta använder sig av det minsta tillåtna kantavståndet vilket leder till minimala toleranser. Istället för att gardera sig och välja ett större kantavstånd, vilket hade givit skivan bättre förutsättningar från start. Varför detta uppstår tros bero på att man antingen inte gjort tillräckliga förberedelser vid projektering, att man utgår ifrån arkitektens handlingar och förutsätter att de stämmer eller av att man blandat ihop olika leverantörers monteringsanvisningar.

De menar på att mycket av dessa monteringsfel kan härledas till en ofullständig projektering vid totalentreprenad. Bygglövshandlingarna redovisar ofta bara det estetiska och beaktar inte en specifik fasadleverantörs utformning och krav. Totalentreprenören bär konstruktionsansvaret och bör utforma en fasadritning för den specifika produkten som handlats upp. I värsta fall kan det vara så att entreprenören direkt gör om bygglövshandlingen till en bygghandling. Yrkesarbetarna utgår därför från en otillräcklig ritning och man inget annat val än att utforma allt på plats. Detta resulterar i att man inte lägger tillräcklig tid på att utforma läktsystem och infästningar, och problem kan uppstå.

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

En problematisk situation som kan förekomma är då en leverantör behöver färdigställa en annan leverantörs påbörjade arbete som av någon anledning inte slutförts. Detta gör att man inte kan garantera att det tidigare utförda arbetet är tillräckligt robust. Scenariot blir problematiskt eftersom ansvarsfördelningen blir oklar. Den intervjuade leverantören menar på att, ju mer man hjälper till, desto mer skyldig blir man.

Bilaga D

Datainsamling - Entreprenör

I detta avsnitt kategoriseras alla utlåtanden. Detta för att få en uppfattning av hur omfattande skadeproblematiken är och hur skadorna skiljer sig åt hos entreprenörerna. Detta anses vara möjligt eftersom den data som är insamlad ej går att kopplas till en specifik entreprenör.

Entreprenör A

Entreprenören har ett tidigare projekt som haft upprepande skador under en lång tid, varvid 20–30% av skadorna var sprickbildning i ytterhörn. Endast skivor orienterade mot öster och i en mörk kulör hade tagit skada medan de i ljus kulör var felfria. Trots att endast en kulör drabbats av skador, härledde leverantören skadorna till att monteringsanvisningarna ej följts. Entreprenören tyckte att det var underligt att felet ansågs vara orsakad av handhavande fel. De menar på att det måste finnas en annan anledning till varför endast den mörkare kulören tog skada. Med detta sagt så kan entreprenören även understryka att skivor av ljus kulör också haft skador i andra projekt. Skadorna på de mörka skivorna skulle därför kunna bero på att de haft en sämre kvalitet i detta fall.

Enligt entreprenören tycks även läktsystemen påverka skivorna. Många av de byggnader som byggdes i område under samma period bestod av samma fasadskiva. Det som skiljde sig åt bland byggnaderna var att entreprenörens fasadsystem bestod av ställläkt och de andra byggnadernas fasader var av träläkt. Byggnaderna i samma område hade inga skador på fasaden vilket tycks bero på att läkten var av trä. Ställläkt anses därför medföra en större risk för sprickbildning, troligtvis på grund av att längdförändringen kan bli större.

Utöver ovanstående skador förekom kalkutfällning i skivorna. Anledningen till detta tros bero på att skivornas hål som borrats inte behandlats med något nytt ytskikt, vilket möjliggör fukt att tränga in. Att ytbehandla hålet var inte något som var föreskrivet vid tiden för montage. Angivelser för hur detta ska hanteras har nu tillkommit i monteringsanvisningarna.

Entreprenören har haft flera projekt där det förekommit andra typer av skador på fibercementskivor. Det kan exempelvis vara att skruvarna som fasadskivorna monterats med skruvat ut sig själv och att tätningslisterna av EPDM-gummi vittrar sönder efter tid.

Entreprenören medger att monteringsanvisningarna många gånger inte följts. De vanligaste avstegen från anvisningarna är att kantavståndet är för litet och att infästningarna dras åt för hårt. Dock tycker entreprenören att dessa små avsteg inte bör orsaka sprickbildning utan att det måste finnas en viss tolerans för detta.

Generellt anser de att det finns fler fördelar än nackdelar med en fibercementskiva och att de gärna använder sig av produkten. En stor fördel med skivan är exempelvis att man enkelt kan demontera skivorna och att de anses vara relativt underhållsfria. De nackdelar som nämnts är att skivorna tycks vara känsliga för uttorkning och att längdförändringar

uppstår i läktsystemen. Men om detta stämmer är oklart, då det verkar finnas en stor osäkerhet kring vad som egentligen ligger bakom skadorna. Entreprenören tycker också att det är svårt och ibland omöjligt att utföra en centrisk infästning. Detta någon som de anser bör kunna åtgärdas genom vidareutveckling av produkten.

Entreprenör B

Entreprenör B har haft flera projekt där de fått skador på fibercementskivor. Ett av projekten har haft återkommande skador senaste åren, vars första skada inträffade flera år efter slutbesiktning. De första skadorna kunde härledas till att entreprenören ej följt monteringsanvisningarna. Felet ansågs var så pass gravt så entreprenören fick byta ut alla läkt och fibercementskivor. Skador återkom dock efter en kortare tid trots att monteringsanvisningarna följts. Eftersom skadorna ej kunde härledas till något handhavandefel denna gång valde leverantören att åtgärda fasaden. Fasaden är inte fullt åtgärdad i dagsläget. Arbetet omfattar både byte av läkt och fibercementskivor, ytterligare en gång. Vad resultatet blir av denna åtgärd kan man i dagsläget inte förutsäga. Detta tyder på att det verkar finnas något fel på leverantörens produkter alternativt att byggnaden inte är lämpad för denna typ av fasad. Utöver ovannämnda skadeproblematik har även färgförändringar hos fibercementskivan förekommit, där kulören bleknat.

De anser att det finns stora oklarheter till varför skador uppstår i fibercementskivor. Entreprenören tycker att toleranserna som finns är alldeles för små och ibland orimliga gällande exempelvis kantavstånd, håldiameter och centrering av infästning.

Å andra sidan medger de att det finns tillfällen då fasaden monterats utan tillräckligt projekteringsunderlag. Ett skäl till detta är att upphandling ofta sker på arkitektens handlingar och att dessa redovisar i stor uträkning bara utseendet. De anser att det är komplext att projektera en hel fasad vid en totalentreprenad eftersom det är så mycket detaljer att beakta.

Entreprenören berättade också att det kan vara svårt att få ut rätt information från leverantörerna. Detta eftersom man kan komma i kontakt med olika personer hos leverantören, vars kunskap skiljer sig. Personerna har ibland också haft olika yrkesroller vilket leder till att man får bristfällig information som kan bli vilseledande och skapa oklarheter. Entreprenören anser dock att leverantören blivit bättre på detta, främst för eftermarknad där stödet utökats.

Entreprenör C

Entreprenören använder sig av fibercementskivor i relativt stor uträkning. Representanten från entreprenören har själv aldrig stött på skador i fibercementskivor men känner till att det har förekommit i företaget. Det fanns heller inga dokumenterade skador tillgängliga. De har dock upplevt liknande skadeproblematik som entreprenör A och B nämner på fasadskivor av annat material som fästs in på liknande sätt. Exempel på defekter är välvning och sprickor i ytterhörn. Som i många andra fall kunde det skadedrabbade projektet härledas till att monteringsanvisningarna inte följts.

Rörelser och sprickbildning i cementbaserade fasadskivor

Entreprenörens teorier för vad som egentligen tros ligga bakom skadorna liknar de som nämnts tidigare.