

Bendik Haga Mo  
Henrik Sindre Lid

# Slagregninntrenging i horisontale fuger på fasader med plane plater

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Stig Geving

Juli 2020



Bendik Haga Mo  
Henrik Sindre Lid

# **Slagregninntrenging i horisontale fuger på fasader med plane plater**

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Stig Geving  
Juli 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden





# Forord

Denne oppgaven er utarbeidet ved Institutt for bygg og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, innenfor hovedprofilen Bygnings- og materialteknikk våren 2020. Oppgaven er skrevet som en del av Klima2050 sitt arbeid med å styrke norske bygningers klimatilpasning gjennom innovativ teknologi og robuste løsninger. Forskningsprogrammet Klima2050 ledes gjennom et samarbeid mellom vertsinstitusjonen SINTEF og NTNU, og har som mål å redusere samfunnsmessig risiko forbundet med klimaendringer. Dette organiseres gjennom fire arbeidspakker, hvor arbeidspakke 1 *Klimaeksponering av fuktrobuste bygninger* har vært denne oppgavens opphav.

Fuktskader i bygg er et kjent problem i byggebransjen, likevel vies det tilsynelatende lite oppmerksomhet ute på byggeplassen. Vi har begge vært på byggeplasser før, og sett hvordan arbeider utføres. Arbeidet med, og resultatene i denne oppgaven har gitt oss bedre forståelse for hvor mye arbeid og kompetanse det kreves for å finne fuktsikre løsninger. Det har vært en lærerik prosess hele veien, og vi er takknemlig for at vi har fått delta på denne reisen.

Vi er svært takknemlige til alle som har vært med og bidratt til denne oppgaven. Først vil vi takke SINTEF Community som har stilt laboratorium og laboratorieutstyr til rådighet. Samtidig vil vi rette en spesiell takk til seniortekniker Øystein Holmberget for uvurderlig bistand under laboratorieforsøkene. Videre vil vi takke vår hovedveileder professor Stig Geving for ideen bak oppgaven og god oppfølging underveis i arbeidet. Videre vil vi takke medveileder professor Tore Kvande for god veiledning og god kommunikasjon opp mot SINTEF, samt avdelingsingeniør Ole Aunrønning for god bistand ved oppstart i laboratoriet. Til slutt vil vi rette en stor takk til alle leverandørene som har bistått oppgaven med fasadeplater, materiell og gode innspill.



---

Bendik Haga Mo  
Trondheim 09. Juli 2020



---

Henrik Sindre Lid  
Trondheim 09. Juli 2020



# Sammendrag

Denne oppgaven har som mål å finne gode løsninger som hindrer vanninntrengning i en fasadekledning med åpne fugespalter, og synliggjøre hvilke værtpåkjenninger en fasade blir utsatt for. Hensikten med oppgaven er å bidra til at det velges løsninger som i større grad er tilpasset dagens og morgendagens klima. Mer kunnskap rundt hva som fører til vanninntrengning legger grunnlaget for løsninger som minimerer vann- og fuktskader. Fuktsikre løsninger gir fasaden økt levetid, noe som er både økonomisk og miljøvennlig.

Denne oppgaven skulle i utgangspunktet utføres som en ren eksperimentell oppgave, hvor vanngjennomtrengning i fasadekledninger med åpne horisontale fuger skulle testes. Derimot medførte Covid-19 en omstrukturering av oppgaven grunnet begrenset tilgang på laboratoriet. Oppgaven ble dermed todelt, hvor den ene delen består av laboratorieforsøk hvor det ses på vanninntrengning i fasader med åpne horisontale fuger, og den andre delen består av slagregnsberegninger for Oslo, Bergen og Trondheim. Det er også utført en eksempelberegning på vanninntrengning i en fasade.

Under laboratorieforsøkene ble det sett på hvor mye vann som trenger gjennom åpne horisontalfuger i en fasade med platekledning. Det er testet seks forskjellige platekledninger hvor overflatestruktur, materialsammensetning og dimensjoner varierer. Forsøkene er utført med forskjellige fugebredder, profilløsninger og fugeutforminger. Hensikten har vært å kartlegge hvor mye vann som trenger igjennom horisontalfugene ved forskjellige fugebredder, fugeutforminger og profilløsninger.

I andre del av oppgaven har det blitt utført slagregnsberegninger. Her er værdata ti år tilbake i tid for Oslo, Bergen og Trondheim behandlet. Værdataen herifra er brukt til å beregne slagregnsindekser for disse tre byene. Slagregnsindeksen ble så benyttet i en eksempelberegning, som har som formål å synliggjøre slagregnspåkjenningerne en fasade blir utsatt for. Slagregnsberegningene ble kombinert med resultater fra laboratorieforsøkene for å synliggjøre hvor mye vann en fasade i Bergen utsettes for, og hvor store mengder som trenger gjennom de horisontale fugene i kledningen.

Resultatene fra laboratorieforsøkene viser at vanninntrengningen av fasaden øker ved økende fugebredder. Det ble funnet at vanninntrengningen av kledningen og helt inn på bakveggen lå fra 0-5% ved en variasjon av fugebreddene på 3 mm, 5 mm og 8 mm. Stort sett nådde 1% av påført vann helt inn på bakveggen. Mengden vann som rant langs innsiden av platen ble målt opp til 1/3 av totalt påført vann. De horisontale fugeprofilene som ble testet viste seg å ha svært ulik evne til å redusere vanninntrengningen, der noen av profilene førte til at det rant store mengder vann på innsiden av fasadeplatene. Skråskjæring av platene, og overheng mellom underkant og overkant på platen viste seg å redusere vanninntrengningen.

Slagregnsberegningene er utført med nylig tilgjengelig værdata på timesbasis og viser forskjellene i slagregnspåkjønning mellom Oslo, Bergen og Trondheim. Bergen har tydeligst størst slagregnspåkjønning av de tre byene. Eksempelberegningen viser at en fasade kan bli utsatt for opptil 359 mm/m<sup>2</sup> regn hvert år.

Det er viktig å kjenne til de lokale værtpåkjenningerne fasaden blir utsatt for, og velge løsninger som reduserer inntrengningen av vann, og dimensjonere veggene slik at fuktbelastningen ikke fører til fuktskader. Ut ifra resultatene funnet i denne oppgaven kan det konkluderes med at fasader med åpne horisontale fugespalter vil føre til at vann

kommer på innsiden av kledningen og bakveggen. Profiler, skråskjæring eller overheng vil kunne redusere vanninntrengningen.

# Abstract

This thesis aims to find and document solutions that prevent water penetration in a façade with open-joint cladding, as well as highlighting how weather affects such facades. The purpose is to contribute to promote future solutions that are more adapted to present and future climates. Increased knowledge about the causes of water penetration lays the foundation for solutions that prevent damage caused by water and humidity. In turn, this prolongs the life span of the façade, which is both economical and environmental-friendly.

Originally, this project was intended as a strictly experimental research, thoroughly testing water penetration in open horizontal joint wall claddings. However, the global outbreak of Covid-19 restricted our access to research facilities, and thus the thesis has been restructured to consist of two parts. The first part consists of laboratory experiments designed to examine water penetration in horizontal joints within cladding panels. The second part consists of calculations of driving rain in Oslo, Bergen, and Trondheim. Using applicable results from these tasks, an example of water penetration in open-joint cladding is provided.

The experiments conducted at the laboratory examine the amount of water that penetrates open horizontal joints in a facade with cladding panels. There has been tested a total of six different panels, each with different surface structure, material composition, and dimensions. Experiments were also conducted with different joint designs, joint widths, and profile solution. The purpose has been to quantify and map the amount of water that penetrates horizontal joints with various widths, designs and profile solutions.

In the second part of the project, driving rain calculations have been made for Oslo, Bergen and Trondheim, using weather data from the last 10 years. Using this data, driving range indexes have been calculated for each of these three cities. This index is further utilized in an example calculation, with the purpose of highlighting the effects on a façade caused by driving rain. Driving rain calculations were then combined with results from the experiments conducted in part one, in order to highlight the amount of water a façade in Bergen is exposed to, as well as the amount of water penetrating the horizontal joints of the cladding.

The results from the laboratory experiments show that the amount of water that penetrates wall cladding, increases with increased joint widths. With joint widths varying between 3 mm, 5 mm and 8 mm, it was found that the amount of water that penetrated the cladding and onto the back wall was 0-5% of all water for which the façade was exposed. Regardless of the joint width, however, the median of the amount of applied water that reached the back wall was around 1%. The amount of water on the inside of the panel was measured to be 1/3 of the initial amount of water applied. Regarding different horizontal joint profiles, there was found significant differences in their ability to reduce water penetration, whereof some profiles resulted in large amounts of water on the inside of the cladding panels. Furthermore, using 45 degrees beveled panels, as well as providing overhang between the lower and upper edge of the panels, proved to reduce water penetration. Driving rain calculations were performed using hourly-based weather data. These calculations highlight the different effects of driving rain in Oslo, Bergen, and Trondheim, of which Bergen clearly experiences the most driving rain. The example

calculation shows that a façade in Bergen can be exposed to up to 359 mm/m<sup>2</sup> of rain annually.

Based on the results presented in this thesis, the conclusion is that façades with horizontal open-joints will result in water reaching the inside of the panel and, in some cases, the back wall. Well-chosen profiles, as well as beveled panel edges and overhang, will reduce water penetration. Moreover, knowledge of the local weather the façade is exposed to is of utmost importance. This will enable one to choose viable solutions that reduce water penetration, thus making sure that exposure to water does not result in permanent water damage.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	III
Abstract .....	V
Innholdsfortegnelse .....	VII
Begrepsforklaringer .....	IX
1 Innledning .....	1
1.1 Hensikt .....	1
1.2 Hovedmål for oppgaven .....	2
1.3 Oppgavens struktur .....	3
1.4 Avgrensning av oppgaven .....	4
2 Bakgrunn .....	5
2.1 Fasader med plane fasadeplater med åpne horisontalfuger. ....	5
2.1.1 Oppbygning av en fasade etter Totrinns-tettings prinsippet .....	6
2.1.2 Plane fasadeplater .....	6
2.1.3 Utforming av åpne fuger .....	8
2.1.4 Horisontale fugeprofiler for plane fasadeplater .....	9
2.1.5 Drivere bak vanninntrengning i fasader med åpne fuger.....	11
2.1.6 Tidligere laboratorieforsøk av slagregnstetthet for plane fasadeplater .....	13
2.2 Klima i Norge, historiske værdata og slagregnsindeks .....	16
2.2.1 Generelt om klima i Norge.....	16
2.2.2 Meteorologiske stasjoner og tilgjengeligheten av historisk værdata .....	18
2.2.3 Årlig slagregnsindeks.....	18
2.2.4 Slagregnsindeks for fasade.....	19
3 Metode .....	23
3.1 Laboratorieforsøk .....	23
3.1.1 Litteraturstudie .....	23
3.1.2 Oppbygging av fasadefeltene .....	25
3.1.3 Produkter som testes.....	28
3.1.4 Gjennomføring av forsøk.....	30
3.1.5 Måling av vanninntrengning.....	32
3.1.6 Undersøkte parametere .....	33
3.1.7 Prøveplan.....	34

3.2	Beregning av slagregnsmengder .....	35
3.2.1	Behandling av innhentet værdata .....	35
3.2.2	Beregning av slagregnsindeks.....	36
3.2.3	Beregning av slagregnsindeks for fasade .....	38
3.2.4	Eksempelberegning av slagregnspåkjening for et bygg.....	38
4	Resultat og Diskusjon .....	47
4.1	Laboratorieforsøk .....	47
4.1.1	Fugebredder .....	49
4.1.2	Profilen.....	57
4.1.3	Overheng og skråskjæring .....	61
4.1.4	Andre observasjoner fra forsøkene .....	65
4.1.5	Feilkilder .....	68
4.2	Slagregnsberegninger .....	70
4.2.1	Årlig slagregnsindeks.....	70
4.2.2	Slagregnsindeks for korte intervall .....	76
4.2.3	Inntrengende vannmengder for eksempelbygg .....	77
5	Konklusjon .....	81
6	Forslag til videre arbeid .....	83
7	Referanser .....	84



# Begrepsforklaringer

<b>IWA</b>	Fasadens årlige slagregnsindeks. Slagregn som når fasaden. Slagregnsindeks for fasade.
<b>IA</b>	Årlig slagregnsindeks. Lokal slagregnsindeks.
<b>Fug</b>	I denne oppgaven benyttes begrepene fug, fugespalte og horisontal fug i ulike sammenhenger. Her refereres det til den horisontale glipen mellom to fasadeplater i en fasade.
<b>Vanninntrengning</b>	Her refereres det til vann som kommer inn gjennom fugen mellom fasadeplatene, enten på baksiden av fasadeplaten, lektesystemet eller bakveggen.
<b>Slagregn</b>	Regn i kombinasjon med vind, som gir regndråpene en horisontal retningsvektor.



# 1 Innledning

## 1.1 Hensikt

Fasader med åpne fuger er i dag en vanlig løsning i større bygg. Plane fasadeplater av f.eks. fibersement, stål og glass utføres vanligvis med fugespalter på 5-10 mm. Vertikalskjøtene er vanligvis regntette, men det forekommer også tilfeller av åpne vertikalfuger eller åpne fuger i begge retninger. Dette er i strid med anbefalingene gitt i Byggforskserien til SINTEF, som anbefaler beslag på horisontale fuger og regntette vertikalfuger (SINTEF community, 2013b).

På grunn av det arkitektoniske uttrykket til fasaden brukes det i dag løsninger som er vesentlig mer åpne enn det som anbefales i Byggforskserien. Det betyr at mange fasader rundt om i Norge bygges med fasadekledninger som ikke er regntette. Det er imidlertid usikkert hvor mye regn som passerer den åpne kledningen. Mengden regn som passerer igjennom de åpne fugene vil ha betydning for hvilke krav som må stilles til vindsperran og lektesystemet. Etter samtaler med ulike leverandører av fasadeplater kom det frem at dette er et problem de selv er klar over. Det er en usikkerhet rundt effekten av beslag, fugeutforming, lektesystem og overflatestruktur. Monteringsanvisningene baserer seg på anbefalingene gitt i *SINTEF RAPPORT NR. 2 «LUFTEDE KLEDNINGER»* (Kvande, et al., 2007), som igjen baserer seg på forsøk utført på helt tilbake på 1960-tallet.

Forsøkene som ble utført av Norges byggforskningsinstitutt på 1960-tallet har i stor grad lagt grunnlaget for anbefalingene som gis i dag. Det ble blant annet utført laboratorieforsøk på plane plater av naturstein og asbestsementplater. I disse forsøkene ble det sett på hvilken effekt fugebredden og luftespalten hadde på mengden vann som traff vindsperran. Fra forsøkene ble det funnet at det var fugebredden som hadde størst innvirkning på mengden vann på vindsperra. På bakgrunn av resultatene herifra er det anbefalt minst 5 mm fugebredde ved horisontale åpne fuger, men samtidig bør man unngå at fugebredde blir noe større enn dette.

I senere tid har det kommet nye produkter og løsninger. I denne oppgaven er det kontaktet fire store leverandører av fasadekledninger for å omfavne et vidt spekter av kledningstyper som brukes i dag, og tilhørende løsninger med fugeprofiler. Hovedsakelig er det lagt vekt på å sammenligne kledningsplater med forskjellig overflatestruktur, fugeutforming, fugeprofilløsning, platetykkelse, og profilløsninger. Plateproduktene og tilbehør er beskrevet videre i metodekapittelet.

Klimaet i Norge er antatt å bli mildere og våtere fremover. Derfor er det viktig å kartlegge fuktbelastningen disse fasadene utsettes for. I senere tid har værdata på timesbasis blitt tilgjengelig fra flere værstasjoner rundt om i Norge. For å gi et mer fullstendig bilde av hvor mye nedbør en fasade blir utsatt for er det gjennomført slagregnsberegninger for ulike byer i landet. Med tilgang på timesdata er det mulig å koble nedbøren for en time med vindhastigheten for samme time, noe som er antatt mer presist en tidligere beregningsmetoder. Her er målet å gi et best mulig bilde av værpåkjenningsene og vise de lokale forskjellene innad i landet. Sammen med laboratorieforsøkene forsøker denne oppgaven å synliggjøre hvilke vannmengder de ulike delene i en fasade blir utsatt for.

## 1.2 Hovedmål for oppgaven

Hovedmålet med denne oppgaven er synliggjøre mengdene vann en fasade med åpne horisontalfuger blir utsatt for. Den ene delen av oppgaven ser på hvor mye av nedbøren som trenger igjennom de horisontale fugespaltene i en fasade. Den andre delen av oppgaven ser på hvor mye slagregn det er på ulike steder i Norge og hvor mye av slagregnet som treffer en fasade. Under er det listet opp flere spesifikke mål for oppgaven:

- Finne hvilken fugebredde som gir minst inntrengende vann.
- Undersøke hvilken effekt utformingen av horisontale fugeprofiler har på vanninntrengningen.
- Undersøke hvilken effekt forskjellig fugegeometri har på vanninntrengningen.
- Undersøke hvilken effekt overflatestruktur og tykkelse har på vanninntrengningen.
- Kartlegge slagregns påkjenningen en fasade utsettes for, og hvor mye av vannet som trenger gjennom de horisontale fugene.
- Andre geometrier i fug.
- Synliggjøre hvor mye vann en fasade blir utsatt for over ulike nedbørsperioder.

## 1.3 Oppgavens struktur

Denne oppgaven har to hovedtemaer: laboratorieforsøk og slagregnsberegninger. Hvert hovedkapittel i oppgaven er todelt, slik at hvert av hovedtemaene blir omtalt hver for seg. I utgangspunktet ble oppgaven utformet med kun laboratorieforsøket som hovedtema, men på grunn av Covid-19 restriksjoner har tilgangen på laboratoriet vært redusert. For å kompensere er det lagt til et hovedtema om slagregnsberegninger. Under er det gitt en oversikt over hovedkapitlene i oppgaven:

- Kapittel 2** Første del av bakgrunnskapittelet omhandler oppbygningen av en luftet fasade med plane plater, hva som fører til vanninntrengning og hvilke tidligere forsøk som er utført på området.
- Andre del av kapittelet tar for seg beregning av slagregnsmengder. Her presenteres klimaet i Norge og hvordan værdata blir samlet inn. Deretter blir beregningsmetoden for slagregnsberegninger presentert.
- Kapittel 3** Metodekapittelets første del tar for seg hvordan laboratorieforsøket ble gjennomført. Her beskrives alt fra oppbygningen av prøvefeltet til gjennomføring av forsøkene.
- Andre del av kapittelet beskriver innhenting og bearbeiding av historisk slagregnsdata. Metoden for beregning av slagregnsmengder mot en fasade beskrives sammen med presentasjon av eksempelberegningen.
- Kapittel 4** I resultatkapittelet vil resultatene fra alle forsøkene bli presentert og diskutert. Første delen tar for seg laboratorieresultatene. Deretter blir andre observasjoner fra forsøkene omtalt.
- Andre del presenterer resultatene fra slagregnsberegningene og resultatene fra eksempelberegningen.
- Kapittel 5** I konklusjonen trekkes de viktigste funnene frem fra både laboratorieforsøket og slagregnsberegningene.
- Kapittel 6** Kapittelet tar for seg forslag til videre arbeid som kan være med på å styrke kunnskapen rundt luftede fasader med plane fasadeplater og slagregnspåkjening på fasader.

## 1.4 Avgrensning av oppgaven

I første del av denne oppgaven skal regntettheten til vertikale fasader med plane fasadeplater med åpne horisontalfuger testes. Parametere som fugebredde, fugeutforming, platetykkelse, overflatestruktur, og profilløsninger skal varieres og sammenlignes. Variasjon av inntrengende vann ved forskjellige løsninger vil være hovedfokuset til oppgaven. Det er kun vanninntrengning i disse fugene som vil bli analysert. Alle leverandørene i denne oppgaven er anonymisert. Dermed er alt av produktdatablad og informasjon om plateproduktene utgitt av de ulike leverandørene ikke henviset til. Under er det oppsummert punkter som kan være av interesse, men som ikke er sett på i denne oppgaven.

- Fasadematerialer med en mer komplisert geometri og oppbygning.
- Mengde absorbert vann i fasadeplaten.
- Detaljer rundt dører, vinduer og hjørneløsninger.
- Avslutning mot grunn, parapet eller lignende.
- Andre typer regnskjermer uten åpne fuger.
- Andre geometrier i fug.
- Samme forsøksramme under dynamisk trykk.
- Vanninntrengning i vertikale fuger.

I andre del av oppgaven er det gjort slagregnsberegninger og utført en eksempelberegning. Her er det kun hentet inn data fra Oslo, Bergen og Trondheim. Beregningsmetoden har kun tatt utgangspunkt i fremgangsmåten gitt i standard NS-EN ISO 15927-3:2009. Under er det oppsummert punkter som kan være av interesse, men som ikke er sett på i denne oppgaven.

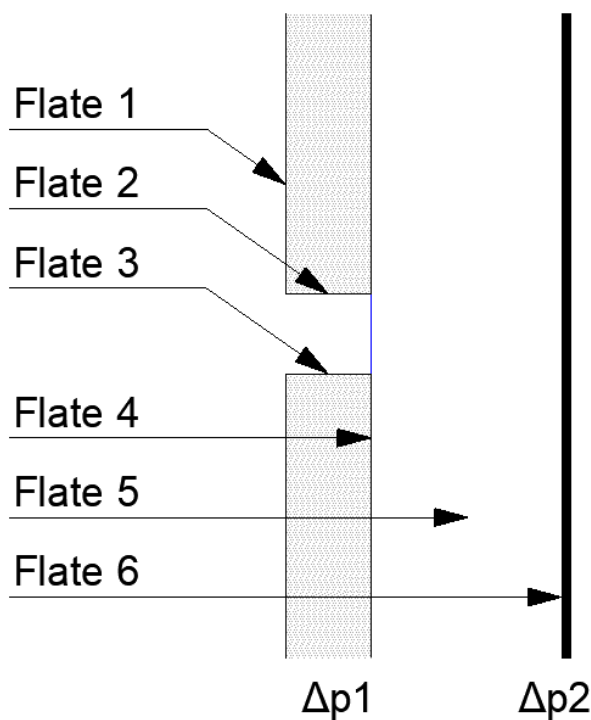
- Alternative beregningsmetoder til den gitt i NS-EN ISO 15927-3:2009.
- Værdataen sett i sammenheng med klimaendringer.
- Hvilke faktorer som bidrar mest til sopp og muggvekst.

## 2 Bakgrunn

### 2.1 Fasader med plane fasadeplater med åpne horisontalfuger.

Ved testing av veggelement i slagregnsskapet, må forståelse av veggens oppbygning og funksjon ligge til grunn. Dette kapitlet tar for seg oppbygningen av en fasade med luftet kledning med åpne fugespalter. Det er også vist de ulike formene for vanninntrengning i nevnte fasade. Det er også gjennomgått tidligere rapporter med samme tematikk. Figur 1 illustrerer flatene som i størst grad omtales i denne oppgaven, samt trykkforskjellene  $\Delta 1$  og  $\Delta 2$ .

- Flate 1 Utvendig overflate på fasadeplaten.
- Flate 2 Underkant fasadeplate.
- Flate 3 Overkant fasadeplate.
- Flate 4 Innvendig overflate på fasadeplaten.
- Flate 5 Luftespalte/sidekant på vertikale lekter.
- Flate 6 Utvendig overflate på vindsperren/bakvegg.
  - $\Delta 1$  Trykkforskjellen over fasadekledningen.
  - $\Delta 2$  Trykkforskjellen over vindsperren.



Figur 1 Luftet kledning med navnsetting av de forskjellige flatene.

### 2.1.1 Oppbygning av en fasade etter Totrinns-tettings prinsippet

Totrinns-tetting er en metode der man benytter to sjikt for å beskytte fasaden mot klimapåkjenningene, også kaldt luftet kledning (SINTEF community, 2013b).

Regnskjermeren utgjør det ytterste sjiktet, ofte betegnet som kledningen, og skal hindre regn i å trenge inn i veggen. Vindspærren utgjør det innerste sjiktet og beskytter veggen mot vann og vind. Mellom disse sjiktene er det en drenert og ventilert luftespalte som gjør det mulig for veggen å tørke ut. Dette prinsippet er veldig utbredt i Norge og brukes både på eneboliger og næringsbygg.

Kledningens funksjon er å beskytte bakveggen og gi bygget et arkitektonisk uttrykk. En av hovedoppgavene til kledningen, eller regnskjermeren, er å hindre regn i å trenge inn til bakveggen. Kledningen skal også fungere som en mekanisk beskyttelse av bakveggen, som ofte er konstruert av mer skjøre materialer. Kledningen fungerer også som en skjerm mot UV-lys, som kan skade vindspærre- eller tapeprodukter.

Luftespalten mellom kledningen og vindspærren skal kunne ventilere ut fuktighet og drenere ut vann som kommer forbi kledningen. Luftespalten bidrar også til å tørke ut byggfukt fra veggkonstruksjonen. Lite ventilering vil gi dårlig uttørkingsmuligheter og føre til sen uttørring av veggkonstruksjonen, samt kunne føre til sopp og muggdannelse i kledningen, lektesystemet og/eller vindspærren (Kvande, et al., 2007). Luftespalten må også være drenert slik at vann som kommer på innsiden av kledningen blir drenert ut igjen. Luftespalten er også med på å trykkutligne fasaden. Dette vil si at trykkforskjellen mellom utsiden av kledning og innsiden av kledning blir liten, som igjen betraktelig reduserer inntrengingen av vann (Kvande, et al., 2007). Anbefalt bredde på luftespalten varierer avhengig av kledningstype. For en liggende kledning montert på en sløyfelekt er det anbefalt en luftespalte på 18-23 mm. En stående kledning, der det er nødvendig med krysslekting, vil luftespalten kunne bli 54 mm eller mer. Det viktigste er at luftespalten er stor nok til å hindre kontakt mellom kledningen og vindspærren, selv ved en utbuling av vindspærren. For å oppnå ventilering av luftespalten er det nødvendig med lufting i bunn og topp av kledningen. I de fleste tilfeller vil det være nødvendig med 4 mm kontinuerlig luftespalte øverst og nederst på veggen (Kvande, et al., 2007).

Vindspærrens funksjon er å lage et vind- og vanntett sjikt på utsiden av isolasjonen som beskytter bakveggen mot vind- og vanninntrengning (SINTEF community, 2013b). For at vindspærren skal beskytte bakveggen må den ha god motstand mot luftinntrengning og være vanntett, samtidig som den må være diffusjonsåpen slik at fukt kan tørke ut gjennom vindspærren. Det er anbefalt at vindspærren har en  $S_d$ -verdi på under 0,5, men vindspærren bør være så dampåpen som mulig slik at fukt fortere tørker ut (Kvande, et al., 2007). I områder med store slagregnspåkjenninger er det viktig at vindspærren tåler fuktbelastningen den blir utsatt for. Eksempelvis vil en gipsplate (GU) lettere få fuktskader sammenlignet med en plastfiberduk. De vanligste vindspærretypene er trefiberplater med belegg, plastbaserte rullprodukter, gipsplater og asfaltimpregnerte celluloseprodukter.

### 2.1.2 Plane fasadeplater

Plane fasadeplater benyttes ofte som luftet ytterkledning. Det kan også benyttes som himling, underside av balkonger og i noen tilfeller innendørs vegger (SINTEF community, 2019). Innen sortimentet til plateprodusentene er det hovedsakelig fire plateprodukter som dominerer markedet i Norge: polymerkompositt (glassfiberprodukt),



høytrykkslaminat, glassystem og fibersement. Innad i disse gruppene finnes det et bredt spekter av overflatestrukturer, farger, dimensjoner og monteringsløsninger. I Tabell 1 presenteres platetyperne benyttet i denne oppgaven.

Tabell 1 Platetyper.

Platetype	Materialsammensetning	Overflate
<b>Polymerkompositt</b>	Platen består av polymerkompositt med en kjerne av steinpartikler armert med to eller flere atskilte lag glassfiber. Relativ høy slagfasthet.	Elektroherdet akryl i forskjellige farger.  Knust naturstein i forskjellige graderinger.
<b>Høytrykkslaminat</b>	Platen består av kompakt laminat tilsatt kunstig harpiks. Kjerne og overflatesjikt presset sammen under høyt trykk og temperatur.	Ferdigbehandlet i ulike farger.
<b>Fibersement</b>	Platene består av sammenpresset sement, PVA- og cellulosefibre.	Kan leveres ubehandlet, med malt overflate eller gjennommalt. (diffusjonsåpen maling).
<b>Glassystem</b>	Herdet sikkerhetsglass limt på en bakplate bestående av glassgranulat.	Glatt glassoverflate.

Hovedsakelig kan man skille plateproduktene etter materialkompositt, overflatestruktur, termiske egenskaper, slagfasthet og absorpsjonsevne. I denne oppgaven vil flere av platenes egenskaper kunne virke inn på forsøksresultatene.

Det er valgt å fokusere på fire platetyper, da disse er mest brukt på norske fasader. Platenes oppbygning og overflate er presentert i Tabell 2. En full oversikt over platenes egenskaper kan sees i deres produktdatablader.

Tabell 2 Platenes egenskaper.

Produsent	Materialkompositt	Overflatestruktur
<b>Leverandør 1</b>	Fibersement	Ubehandlet, sandblåst overflate.
		Gjennomfarget, malt overflate, glatt.
<b>Leverandør 2</b>	Polymerkompositt	Elektroherdet akryl, glatt overflate.
		Knust naturstein
<b>Leverandør 3</b>	Glass	Glatt overflate
<b>Leverandør 4</b>	Høytrykkslaminat	Dobbel herdet akryl harpiks, glatt overflate.

Det antas at vannstrømmene på plateoverflaten vil påvirkes av overflatestrukturen til kledningen. Vannstrømmer vil danne seg på plateoverflaten, og avhengig av overflatestrukturen vil strømmene renne på forskjellige vis, ned til fugen. Med glatte akryloverflater og glassoverflater vil vannet strømme jevnere og uhindret ned mot fugen, mens ubehandlede ujevne overflater kan hindre jevn strømning. Om overflatestrukturen

har noe å si for vanninntrengningen i de åpne horisontale fugene vil være et interessant moment i forsøkene.

Man kan anta at vannstrømmen på glatte overflater vil få en høyere hastighet, grunnet lav friksjon mot underlaget. Initialt kan overflaten til platen påvirke vannstrømmen, i form av noe oppbremsing, dette gjelder overflater som er ru. Den opparbeidede hastigheten på vannstrømmene kan ha noe å si for hvordan vannet vil bevege seg over de åpne horisontale fugene.

### 2.1.3 Utforming av åpne fuger

Det er flere måter å konstruere regnskjermen på. Ofte blir funksjonalitet, arkitektonisk uttrykk, og økonomiske aspekter lagt til grunn for valg av regnskjerm. Byggforskserien anbefaler at fasadekledningen er tett, slik at regn og vind ikke trenger gjennom (SINTEF community, 2019). Likevel velger flere å benytte fasadekledninger med åpne fuger. Det benyttes gjerne fuger for å gi platekledningen rom for fukt-, og temperaturbevegelser, gi luftespalten bedre ventileringsmuligheter, og i noen tilfeller for å tilfredsstille arkitektens ønsker (SINTEF community, 2019).

Benyttes åpne fuger forutsettes det at luftespalten bak kledningen har ekstra god drenering og ventilering (SINTEF community, 2019). Slik oppnår man at inntrengende vann dreneres ut, og gir konstruksjonen gode uttøringsmuligheter. Det forutsettes også at vindsperreproduktet som benyttes har tilstrekkelig vantetthet, og varig UV-bestandighet.

Som nevnt skal fugebredden gi materialet rom for bevegelse. Forskjellig platetyper krever forskjellig fugebredder. Leverandør leverer monteringsanvisninger hvor de beskriver fugeutformingen og alternative løsninger som kan benyttes. Flere av disse beskrivelsene baserer seg på anbefalinger gitt i Byggforskserien og/eller som er gitt i *SINTEF Rapport nr. 2 «Luftede kledninger»*. I noen tilfeller vil temperatur- og fuktbevegelse, og krav til lufting være dimensjonerende for fugebredden. Særlig integrert solcellepanel i fasade har høyere krav til lufting. I disse tilfellene er det leverandørene selv som anbefaler fugeutforming.

*SINTEF Rapport 2, «Luftede kledninger»* gir en sammenstilt fremstilling av SINTEF sin erfaring med luftede kledninger (Kvande, et al., 2007). Viktige prinsipper og anbefalinger fremlegges i rapporten, basert på erfaringer og tidligere forsøk. For horisontale fuger baserer rapporten sine anbefalinger på forsøk utført av Isaksen (1964; 1966). Anbefalingene for horisontale fugebredder kan sees i Tabell 3. Selv om forsøkene dateres tilbake til 1960-tallet er resultatene fortsatt relevante i dag.

Tabell 3 Anbefalte horisontale fugebredder (Kvande, et al., 2007).

Horisontal fugebredde	Anbefalinger
≤ 5 mm	Kan brukes ved stor slagregns påkjønning, selv ved 20 mm luftespalte. I fuger som er mindre en 5 mm kan man få problem med stående vann i fugespalten. Dette kan føre til problemer med sopp- og algevekst.
7-10 mm	Er ikke anbefalt brukt uten ekstra sikring av bakveggen, selv ved bruk av 40 mm dyp luftespalte.
> 10 mm	Denne fugebredden vil føre til at bakveggen blir våt ved stor slagregns påkjønning.

#### 2.1.4 Horisontale fugeprofiler for plane fasadeplater

Byggforskserien anbefaler at fugene beskyttes mot direkte innblåsing av regnvann, slik at vindsperrer ikke belastes mer enn nødvendig (SINTEF community, 2019). Etter dialog med de største leverandørene i Norge kan vi fastslå at fugeprofiler i de fleste tilfeller sløyfes. Produsentene viser dog stor interesse for at disse produktene skal testes, da formelle tester ikke er gjennomført for horisontalprofilene.

Fugeprofiler er anbefalt på særlig slagregnsutsatte områder og kyststrøk. Løsningen vil gjøre fasaden mer robust og tett mot vanninntrengning. Her benyttes tetteremsprodukter og/eller beskyttelsesprofiler i plast eller metall. Denne oppbygningen beskytter fugene mot direkte innblåsing, regnvann og UV-stråling (SINTEF community, 2019). Av profilprodukter skiller man mellom hjørneprofiler, horisontalprofiler, vertikalprofiler og beslagsprofiler. Denne oppgaven ser på horisontale fugespalter, og fokuset vil derfor være på profiler myntet på horisontalfugen. Horisontalprofiler kommer i flere former og fasonger. Av Figur 2 kan man se hvordan disse profilene er utformet.



*Figur 2 Horisontalprofiler.*

Spesielt for fugebredder over 5 mm anbefales det å benytte horisontalprofiler (SINTEF community, 2013b). Hverken produsenter eller preaksepterte løsninger fra byggforskserien krever profiler i fasadeløsninger med plane plater, men det anbefales både for arkitektonisk preg og bedre fuktsikring.

Innenfor horisontalprofiler kan vi skille mellom åpne profiler og tette profiler, avhengig om fugen skal beskyttes samtidig som lufting sikres eller om fugen skal lukkes helt (Kvande, et al., 2007). I Figur 3 kan man se en tett horisontalprofil, mens Figur 4 illustrerer en åpen horisontalprofil.



Figur 3 Tette horisontalprofil.



Figur 4 Åpen horisontalprofil (Cembrit Norge, u.d.).

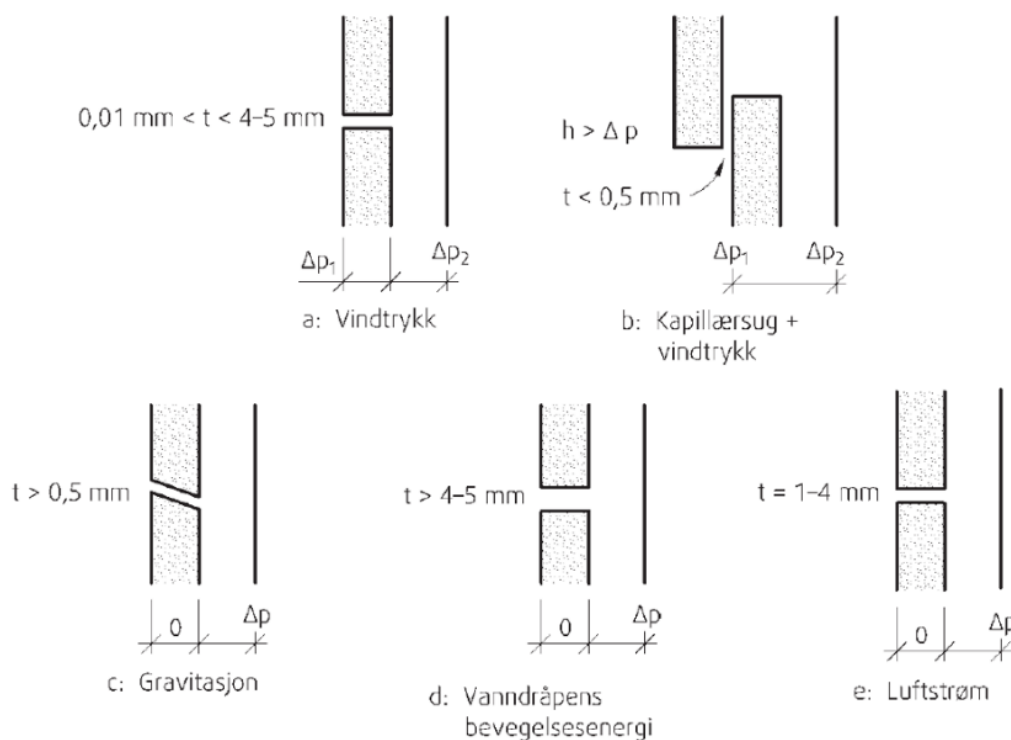
Profilløsningene i Figur 3 og Figur 4 har begge fordeler og ulemper. Den åpne profilløsningen sikrer god lufting for kledningen, og vil kunne gi en raskere trykkutligning av fasaden. Regn som trenger gjennom fugene får gode uttørkningsmuligheter. Den tette løsningen vil i teorien være mye mer robust når det kommer til inntrengende vann. Siden fugene i Figur 3 er tette vil mye av trykkdifferansen fordele seg over kledningen, noe som kan føre til at vann likevel drives inn gjennom profilen (Kvande, et al., 2007). Uttørkningsmuligheten vil være dårligere sammenlignet med en åpen profilløsning, da profilene gir mindre mulighet for utlufting av fukt i dreneringssjiktet. Noe ventilering vil bevares siden man utfører luftede kledninger med lufting i topp og bunn av kledning.

Luftede kledninger må ha gode uttørkningsmuligheter, slik at fukt ikke blir liggende over lengre tid i dreneringssjiktet (SINTEF community, 2013b). Etter dialog med kledningsleverandører, viser det seg at dårlig utførelse ofte er rotårsaken til fuktskader i ytterveggskonstruksjoner. Dårlig utførelse kan resultere i for lite ventilering av luftespalten som igjen kan føre til fuktskader på lektesystemet og bakvegg. I SINTEF sin rapport «SINTEF rapport 2, luftede kledninger» omtales også problematikken (Kvande, et al., 2007).

I denne oppgaven ser vi på kledninger som er montert på vertikale trelekter. Som man ser av Figur 3 og Figur 4 monteres platene med en gummilist mellom platen og lekten. Denne gummilisten benyttes for å hindre at vann trenger inn i veggen via trelektene. Det anbefales at gummilisten dekker hele lekten.

## 2.1.5 Drivere bak vanninntrengning i fasader med åpne fuger

Ved åpne horisontale fuger er det flere måter vannet kan trenge inn på baksiden av platene. Figur 5 illustrerer forskjellige drivere ved ulik utforming av fugene (Kvande, et al., 2007).



Figur 5 Ulike drivere for inntrengende vann (Kvande, et al., 2007).

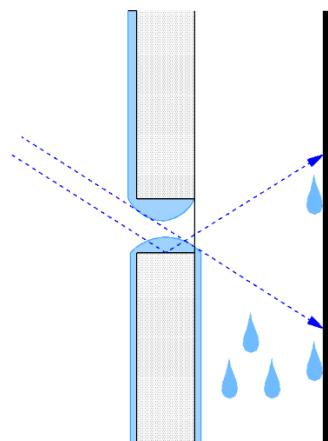
- Ved fuger på 0,01 mm til 4-5 mm vil trykkforskjellen over fasadeplaten føre til at vann trenger inn på baksiden av platekledningen.
- Ved vertikale fuger smalere enn 0,5 mm vil vannet trenge inn ved hjelp av kapillærkrefter og på grunn av trykkforskjell.
- Ved feger som er større en 0,5 mm vil gravitasjonskrefter føre vann på innsiden av kledningen ved en uheldig utforming av den åpne fugespalten.
- Ved fuger som er større enn 4-5 mm vil vanndråpenes bevegelsesenergi gjøre at det kommer vann på innsiden av kledningen.
- Ved fuger på 1-4 mm vil vindstrømmer innad i fasaden også være med på å drive vann inn i fasaden.

Sett bort fra trykkforskjeller, vil overflatespenningen til vannet være en viktig driver til inntrengende vann i fugene. Overflatespenning oppstår når en væske er i kontakt med luft, der væsken vil forsøke å få minst mulig overflate i forhold til volum. Kraften fører til at det dannes en overflatehinne rundt væsken som får en kulelignende form (Universitetet i Oslo, 2017).

Når vannet renner på utsiden av kledningen får den en overflatehinne. Når denne strømmen treffer de horisontale fugene, vil overflatehinnen kunne hindre vannet i å renne rett ned forbi fugespalten, og heller dra vannstrømmen inn i fugespalten. Ved mindre fugebredder (0,1-5 mm) vil vannfilmen på plateoverflaten kunne bygge en bro

over fugen, og vannstrømmen vil kunne renne over fugen på utsiden av kledningen (Kvande, et al., 2007). Hvis dette kombineres med trykk over kledningen, vil vannbroen kunne trykkes inn igjennom fugen.

Ved større fugebredder vil vannet danne en dråpeform på bunn av platen, som igjen kan dryppe ned på underliggende plate. Av Figur 6 kan man se at overflatespenningen vil skape dråpeformer på begge sider av fugen. Ved smale fugebredder vil dråpene kunne møtes og danne bro. Vannet på overkant av platen vil renne både ned på ut- og innsiden.



Figur 6 Vann i fugespalte.

Som vist i Figur 6 kan slagregn mot fugen trenge helt inn på bakveggen, eventuelt slå ned på fugen og sprute på bakveggen. I tillegg vil noe av vannet som trenger gjennom fugene kunne renne ned langs lektene som platene er festet til. Altså vil vannet kunne renne ned fire forskjellige områder på konstruksjonen; utside kledning, innside kledning, langs lekt og langs bakvegg.

Trykkforskjeller over fasaden oppstår når bygget blir utsatt for vind. Fasaden som får vinden vinkelrett mot seg vil oppleve et trykk over fasaden. De andre sidene vil oppleve et sug eller et lavere trykk.

Fasader som bygges etter prinsippet om totrinns-tetting vil ha to trykkreduksjoner.  $\Delta 1$  er trykkreduksjonen over regnskjermer, og  $\Delta 2$  er trykkreduksjonen over vindspærren/bakveggen. For vegger med åpne fuger i horisontal og/eller vertikalretning vil trykkutligningen skje momentant og dermed kommer hele trykkforskjellen over  $\Delta 2$ . Det vil si at  $\Delta 1$  er tilnærmet lik null og vindtrykket vil ikke være med på å drive regndråpene inn i fasaden. For at  $\Delta 1$  skal bli tilnærmet null må åpningene i fasaden være store nok i forhold til volumet på innsiden av kledningen og lufttettheten til bakveggen. Denne type vegg betegnes på engelsk som PER walls (pressure equalized rainscreen).

Utformingen av lektesystemet vil også ha en stor innvirkning på trykkutligningen. Ved bruk av kun vertikale lekter vil man hindre luftstrømmer horisontalt inne i luftespalten. Dette er spesielt viktig rundt hjørner, slik at man unngår en luftstrøm fra innsiden av kledning med overtrykk til fasaden med undertrykk (sug). Tilsvarene vil det være gunstig å dele opp høye fasader med horisontale lekter eller beslag, slik at man hindrer luftstrømmer i vertikal retning på innsiden av kledningen. Ved at fasaden deles opp vil trykkutligningen skje fortere og man hindrer uheldige luftstrømninger på innsiden av fasaden.

### 2.1.6 Tidligere laboratorieforsøk av slagregnstetthet for plane fasadeplater

Fra tidligere er det utført noen forsøk på ventilerte fasader. I Tabell 4 er det listet opp noen aktuelle forsøk som har sett på denne type fasade. Forsøkene som er listet opp har benyttet forskjellige tilnærminger og metoder, noe som gjenspeiles i de manglende verdiene i tabellen. Selv om flere av forsøkene ikke ser på vanninntrengning i en horisontal fug, belyser studiene viktige momenter og metodevalg ved testing av regnskjerm og fugeutforming.

#### **Platetykkelse og type**

Fra Tabell 4 ser man at det er brukt platetykkelser fra 5-40 mm, og der det er beskrevet er det brukt enten natursteinsplater eller en form for sementbasert platekledning. Hverken materiale eller platetykkelse har vært hovedfokuset til noen av forsøkene fremhevet i Tabell 4. Derimot bemerket Isaksen (1964) at ujevnheter i natursteinsplatene gjorde at det stedvis, der det var hyller og hakk i platen, oppsto konsentrerte vannstrømmer enten på innsiden eller utsiden av platen. Det ble også gjort en antagelse om at en tykkere plate ville ha større motstand mot inntrengende regn. Mas et al. (2011) fant at tykkelsen på platene hadde mer å si når fugene var mindre, men at denne effekten hadde lite å si når fugen ble 8 mm eller mer.

#### **Fugebredden**

Både Isaksen (1964; 1966) og Mas et al. (2011) har sett på hvilken effekt fugebredden har på inntrengende vann. Isaksen anbefaler en fugebredde på 5 mm. Ved 5 mm unngår man at vann blir stående i fugene, noe som kan føre til misfarging og fuktskader på fasadeplatene. Ved større fugebredder enn 5 mm vil andelen vann som treffer vindsperran øke og er dermed ikke å anbefale, ifølge Isaksen.

Mas et al. (2011) anbefaler en fugebredde på 8 mm, noe som er vesentlig større enn Isaksen sin anbefaling på 5 mm. Her legges det vekt på at en fugebredde på 8 mm vil sikre trykkutligning av fasaden og dermed redusere denne drivkraften. Det ble kun sett på andelen vann som kom på innsiden av platene og ikke vann som nådde helt frem til vindsperran. Derimot fant studien at 12%, 34% og 42% av vannet kom på innsiden av platene ved henholdsvis 4 mm, 6 mm og 8 mm fugespalte, ved test av en 40 mm natursteinsplate. Resultatene viser, som også Isaksen bemerket, at en økning av fugebredden vil gi mer vanninntrengning. Selv om det ikke ble målt, er det nærliggende å anta at vannmengden på vindsperran også er redusert når kun 12% av vannet ble målt på innsiden fasadeplaten.

#### **Luftespalte**

Det er benyttet en variasjon av luftespaltebredder, fra 3 mm til 200 mm. Av studiene her er det kun Isaksen (1964; 1966) som direkte har sett på effekten bredden på luftespalten har på mengden vann på vindsperran. Derimot er det nevnt at volumet av luftespalten kan ha en innvirkning på hvor fort luftespalten blir trykkutlignet. Isaksen (1966) fant at luftespalter helt ned på 5-9 mm muligens kan benyttes ved fugebredder på 3 mm, men her vil man få problemer med at vann blir stående i fugene. Ved fugebredder på 5 mm ble det anbefalt 25 mm luftespalte.

Isaksen (1964) gjorde forsøk med luftespalter på 20 mm, 30 mm og 40 mm, og resultatene herifra er noe sprikende. Blant annet viser resultatet fra en test med 30 mm luftespalte og 10 mm fugebrede at andelen vann på innsiden av platen er mindre enn ved 20 mm og 40 mm luftespalte, men at andelen vann på vindspærren er større. Resultatene antyder at 20 mm luftespalte er noe bedre en 30 mm, men samtidig er 40 mm luftespalte synlig bedre enn både 20 mm og 30 mm luftespalte.

## Trykk

I nesten alle forsøkene har det blitt bruk trykk under forsøkene for å simulere hvordan vinden påvirker fasaden. Gjennomgående er det benyttet trykk opp til 600-700 Pa. ved kjøring av testene. Det er også gjennomført tester med konstant overtrykk og med dynamisk trykk.

Isaksen (1964) gjennomførte forsøk med statisk overtrykk, dynamisk overtrykk og uten trykk. Fra resultatene kan det antydes at statisk trykk ikke hadde noen innvirkning på andelen vann på vindspærren. Ved bruk av dynamisk trykk ble det observert økt vanninntrengning ved fuger på 7 og 10 mm, men ved 5 mm hadde det liten effekt. Disse testene ble utført uten at det ble gjort målinger av trykkforskjellene over fasaden eller kledningen.

Det kan antas at ved statisk overtrykk og med en tilnærmet tett vindspærre vil trykkforskjellen over fasadekledningen være tilnærmet lik 0 Pa hele testen. Derimot ved dynamisk trykk vil man tidvis kunne få trykkforskjell over fasaden selv med en tett vindspærre. Racatala et al. (2018) utførte forsøk med dynamisk trykk på opptil 750 Pa. hvor trykket ble økt med 150 Pa. per steg. Uavhengig av overtrykket ble det kun målt 10 Pa trykkforskjell over fasaden mellom hvert trykkintervall i testen. Resultatet forble det samme selv når vindspærren ble gjort noe mindre lufttett.

Lignende resultater ble også funnet av Madrid (2010), hvor det ble målt en trykkforskjell på 1 Pa. over kledningen med tett vindspærre. Det ble også testet med delvis åpne vindspærre. Her viste resultatet en lineær stigning i trykkforskjellen over fasaden med en lineær økning i trykk over hele fasaden.

1 Pa og 10 Pa trykkforskjell er i utgangspunktet ganske små verdier når det er snakk om et overtrykk på fasaden på opptil 750 Pa. Testene utført av Madrid (2010) er noe mindre beskrevet som gjør at noen geometriske mål mangler. Det er antatt at volumet på hulrommet og fugebredden er forskjellig i de to nevnte testene. Det kan også tenkes at testapparatene bygger opp trykket i forskjellige hastigheter. Dette kan være en av grunnene til de ulike trykkforskjellene over fasaden mellom de to forsøkene.



## Tidligere forsøk

I Tabell 4 er parametere fra tidligere forsøk vist. Disse er hentet frem for å vise hva som har blitt gjort og sett på tidligere.

Tabell 4 Tidligere forsøk.

Parametere	Forsøk					
	Racatala, et al., 2018	Bassett & Overton, 2015	Mas, et al., 2011	Madrid, 2010	Isaksen, 1966	Isaksen, 1964
<b>Prøvefelt [cm]</b>	196 x 228	70 x 70	180 x 120	100 x 100	160 x 160	140 x 140
<b>Platedimensjon [cm]</b>	63 x 30	-	90 x 60	-	40 x 120	70 x 70
<b>Fasademateriale</b>	Sementbasert	-	Naturstein	-	Asbestsement-fasadeplater	Naturstein
<b>Platetykkelse [mm]</b>	12	-	30 - 40	-	5	20
<b>Fugebredde [mm]</b>	10		4 6 8 10	-	0 3 5 7 10	3 5 7 10
<b>Luftespalte [mm]</b>	60 100		-	200	3 5 9,6 25	20 30 40
<b>Trykk <math>\Delta 2</math> [Pa]</b>	0 - 750 6 steg à 150	0 - 500	0	0 - 600 8 steg	0 686 147 - 1225	0 - 700
<b>Trykk <math>\Delta 1</math> [Pa]</b>	10	0 - 500	-	1 - 34	-	-
<b>Slagregn [l/min m<sup>2</sup>]</b>	1,1 2,0 2,9	0,08 - 3,4	12	2,7	0 0,17	0,17
<b>Nedsildrene [l/min m]</b>	-	-	-	-	0 0,67 1,67	0,67 1,17 1,67
<b>Varighet [min]</b>	90	-	15	24	-	90 - 150
<b>Studiens fokusområde</b>		Beslags- utforming			Fugegeometri	Fugegeometri

I noen av forsøkene ble det tatt målinger av vanninntrengningen. Racatala et al. (2018) målte at 0,54% av vannet nådde vindspærren, mens under Isaksen (1964; 1966) sine forsøk ble det funnet mellom 0% og 3,4% vann på vindspærren. I rapporten av Mas et al. (2011) og Madrid (2010) ble det ikke målt spesifikt hvor mye som nådde vindspærren, men heller hvor mye vann som kom på innsiden av kledningen. Her ble det funnet vannmengder på henholdsvis 1,0-56,0% og 5,8-18,0%.

## 2.2 Klima i Norge, historiske værdata og slagregnsindeks

### 2.2.1 Generelt om klima i Norge

#### **Klima i Norge**

Norge med sin langstrakte kyst og innlandsområder har en stor variasjon i klima, og geografisk plassering vil ha mye å si for hvilken påkjenning et bygg blir utsatt for. Norges geografiske utforming med dype fjorder og høye fjell gjør at de klimatiske forskjellene innad i landet er større enn våre naboland Sverige og Danmark. De høye fjellene har en skjermende effekt som fører til at Østlandet og Finnmarksvidda får et kontinentalt klima, også kalt innlandsklima. Dette har ført til forskjeller i byggeskikk, slik at man lokalt har tilpasset seg klimapåkjenningen (Thue, 2016).

De store variasjonene innad i landet gjør at det er nødvendig å tilpasse bebyggelsen etter det lokale klimaet. Spesielt vil lokale variasjoner i slagregnsbelastningen være viktig å ta hensyn til, slik at fuktskader unngås. Av alle fuktskader utgjør nedbør 25% av skadene (Thue, 2016). Lokalt vil topografi og omliggende bebyggelse ha stor innvirkning på slagregnsbelastningen, og kunnskap rundt dette vil kunne være med på å redusere fuktskader i bygg.

Endringer i klima er ventet å føre til høyere temperaturer, mer nedbør og at hyppigheten og omfanget av ekstremvær øker. En høyere temperatur sammen med økt nedbør vil føre til økt biologisk vekst, noe som vil føre til at løsninger som tidligere var værbestandige ikke lenger er egnet ved et endret klima. Målinger utført av Meteorologisk institutt viser at årsnedbøren fra 1900 og frem til i dag har økt med 20% (Meteorologisk institutt, 2017). Dette er en økning som er forventet å fortsette i årene fremover. Det er kortidsnedbøren som har økt mest. De siste 50 årene har timesnedbøren i Oslo økt med 60%, hvor det også her ventes det en videre økning i årene fremover.

#### **Vind og nedbør**

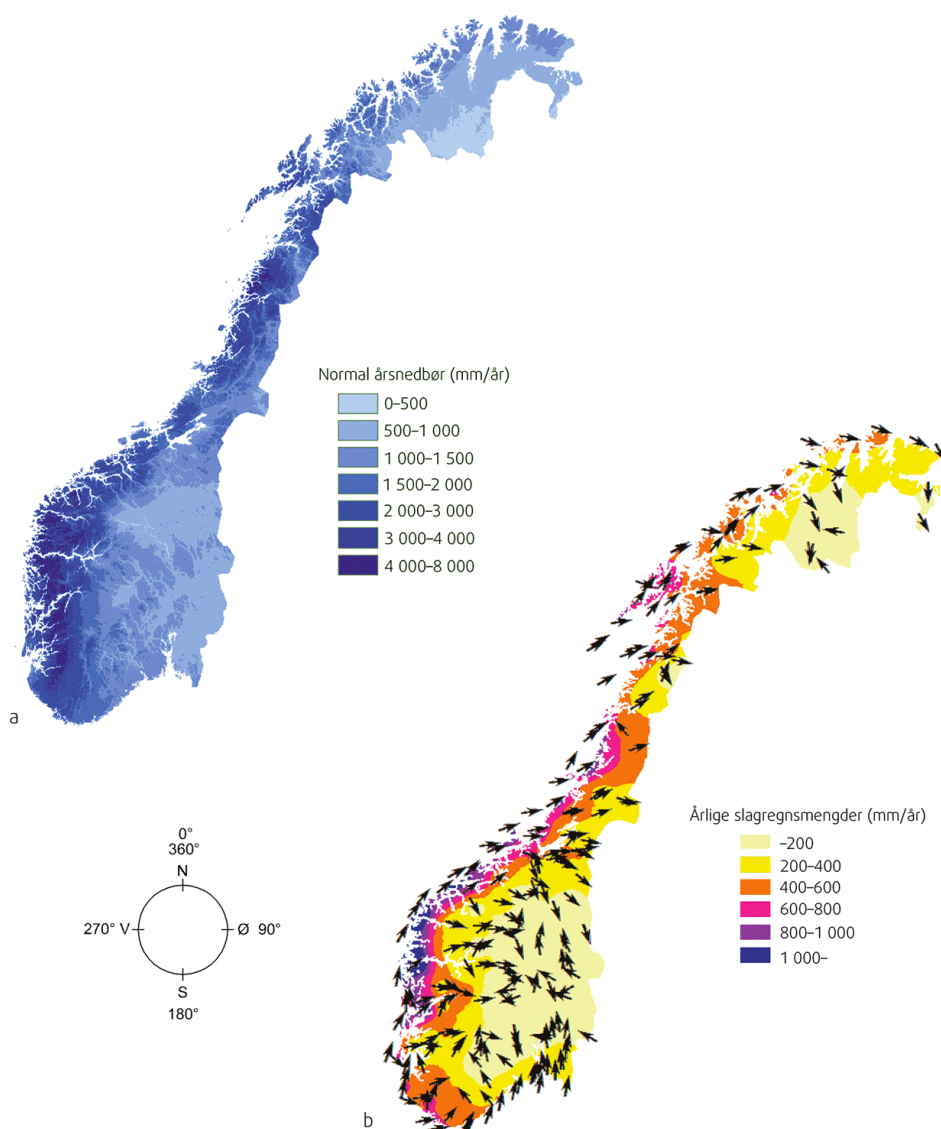
Vind og nedbør er to sentrale faktorer når man skal vurdere de klimatiske påkjenningene et bygg blir utsatt for. Vind/luftstrømmer kan både ha positive og negative innvirkninger på ulike bygningsdeler. Vinden er kritisk for ventilering av skråtak og fasader, og for ventilering av rom for å sikre god kvalitet på innelufta uten bruk av mekanisk ventilasjon (Thue, 2016). På den negative siden kan vind føre til at regn eller snø blir blåst inn i bygningskonstruksjonen og gi fukt- og soppskader. I ekstremtilfeller vil flom og storm/orkan gi store mekaniske skader på bebyggelse.

Vind i bygningssammenheng kan gi store trykkforskjeller over fasaden i form av trykk- og sugkrefter (Thue, 2016). Lokale vindforhold, skjerming og byggets utforming vil avgjøre hvor mye vindkrefter bygget blir utsatt for. Når vind treffer fremsiden av et bygg vil det oppstå et vindtrykk over denne fasaden. Samtidig vil sidene og baksiden av bygget oppleve sugkrefter. Kapittel 2.2.4 tar for seg grundigere hvordan vinden blir påvirket av ulike faktorer.

Nedbørsfordelingen i Norge er påvirket av topografi og vind. Langs med kysten oppleves det store mengder orografisk nedbør, som skyldes at fuktig luft fra havet presses oppover av fjellformasjoner langs kysten (Dannevig & Harstveit, 2019a). Dette fører til store nedbørsmengder i fjellområder langs kysten.

Når vind og regn opptrer samtidig får man det som kalles slagregn, noe som innebærer at vandrdråpene får en horisontal fartskomponent. Dette fører til at fasader og andre bygningsdeler blir utsatt for vannpåkjenning. Det er mange faktorer som bestemmer størrelsesordenen av denne belastningen. Byggets orientering, nabobebyggelse og lokal topografi er med på å bestemme hvor stor påkjenning et bygg utsettes for. Dette kan føre til store variasjoner i slagregnspåkjenning fra bygg til bygg og fasade til fasade i samme område. Målinger av vindtrykk og slagregnsmengder i Bergensområdet har vist at trykket på fasaden kan komme opp i 800-1000 Pa og slagregnsintensitet opp til 25-30 l/m<sup>2</sup>h (Isaksen, 1964). Slagregnet vil også fordele seg ulikt over en fasade, der øverste del og langs hjørner vil være mest eksponert.

Figur 7 viser to kart som illustrerer nedbørs- og slagregnsfordelingen i Norge. Til venstre vises fordelingen av normal årsnedbør. Her kan man tydelig se at kystområdene og fjellområder langs kysten fra Rogaland og nordover har store nedbørsmengder. Til høyre er årlige slagregnsmengder vist med en pil som indikerer retningen. Her vises det tydelig at det er store forskjeller i slagregnspåkjenning en fasade blir utsatt for.



Figur 7 Til venstre, nedbørskart over Norge. Til høyre, Slagregnskart for Norge, fargeskalaen gir årlig slagregnsmengder fra den hovedretning pilene viser (SINTEF community, 2013a).

### 2.2.2 Meteorologiske stasjoner og tilgjengeligheten av historisk værdata

Når det er snakk om meteorologiske stasjoner kan man skille mellom nedbørstasjoner, værstasjoner og skipsstasjoner (Dannevig & Harstveit, 2019b). Værstasjonene måler blant annet nedbør, temperatur, fuktighet og vindhastighet og er dermed mest aktuelle i denne oppgaven. Hyppigheten og mengden informasjon som blir samlet inn varierer fra stasjon til stasjon. Nedbørstasjonene har færrest observasjoner med kun én observasjon i døgnet. Standard målestasjoner henter inn data tre ganger i døgnet, 07:00, 13:00 og 19:00. For værstasjoner med døgnbemanning, eksempelvis flyplasser og brannstasjoner, tas det også en måling 01:00. I nyere tid har flere og flere målestasjoner blitt automatisert. Disse stasjonene sender inn værdata hver time (Meteorologisk institutt, u.d.).

Ved definisjon av et døgn er det to begrep som benyttes: temperaturdøgn og nedbørsdøgn. Et temperaturdøgn går fra 18:00 UTC til 18:00 UTC det foregående døgnet dataen er datert. Et nedbørsdøgn går fra 07:00 norsk normaltid til 07:00 foregående døgn dataen er datert.

Muligheten til å hente ut værdata har blitt gjort enklere med den relativt nye internettdatabasen eKlima. Dette er en nettbasert database fra Meteorologisk institutt, som gjør det mulig å hente ut store mengder og varierte værdata etter behov. Det er samlet og gjort tilgjengelig værdata fra alle værstasjonene til Meteorologisk institutt og deres samarbeidspartnere fra 1957 til dags dato.

### 2.2.3 Årlig slagregnsindeks

For å få bedre innsikt i hvor mye slagregn det er i et område vil en årlig slagregnsindeks kunne brukes til å se hvor mye regn som vil treffe en vertikal flate. Man vil også kunne se fra hvilken himmelretning slagregnet kommer fra. Med den dataen som er tilgjengelig fra eKlima gir NS-EN ISO 15927-3:2009 en metode for å beregne slagregnsindeksen. Standarden gir flere beregningsmetoder, men i denne oppgaven blir den første metoden benyttet. Metoden har hovedsakelig to steg; først beregnes den årlige slagregnsindeksen, deretter ser man på hvor stor del av slagregnet som treffer en fasade med bruk av flere justeringsfaktorer. Det vil si at den årlige slagregnsindeksen ikke tar hensyn til noe form for skjerming. Ved bruk av justeringsfaktorene får man en slagregnsindeks for en fasade, som omtalt i kapittel 2.2.4. Formel 1 viser formelen for slagregnsindeksen.

Formel 1 Slagregnsindeks (Standard Norge, 2009).

$$I_{\theta} = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta)}{N}$$

Der:

- $I_{\theta}$  Slagregnsindeks for retning  $\theta$  (mm/år eller l/m<sup>2</sup> per år).  
 $\frac{2}{9}$  Omgjøringsfaktor (s/m).  
 $v$  Midlet vindhastighet siste time (m/s).  
 $r$  Nedbør siste time (mm).  
 $\theta$  Vinkel mellom nord og veggens flatenormal.  
 $D$  Midlet vindretning siste time, i grader fra nord.  
 $N$  Antall år med tilgjengelig data

Formelen gir årlig slagregn for en fasade med flatenormal lik vinkel  $\theta$  i forhold til nord. Når man multipliserer vindhastighet ( $v$ ) med nedbør ( $r$ ) får man benevnelsen m<sup>2</sup>/s, som er lite intuitivt. For å presentere beregningene med en mer intuitiv benevnelse fant Lacy i 1965 en sammenheng mellom m<sup>2</sup>/s og mm slagregn på en vertikal flate (gjengitt i Henriques, 1992). Ved å analysere 75 regnstormer i perioden 1948-63 kom Lacy frem til en formel for å beregne slagregnsintensiteten  $R_v$ , vist i Formel 2.

Formel 2 Slagregnsintensitet  $R_v$ .

$$R_v = 0.222 \cdot V \cdot R^{0.88}$$

Av formelen ser man at omregningsfaktoren og korreksjonen av nedbøren funnet av Lacy er det samme som brukes i standarden ( $2/9 = 0.222$  og  $8/9 = 0.889$ ).

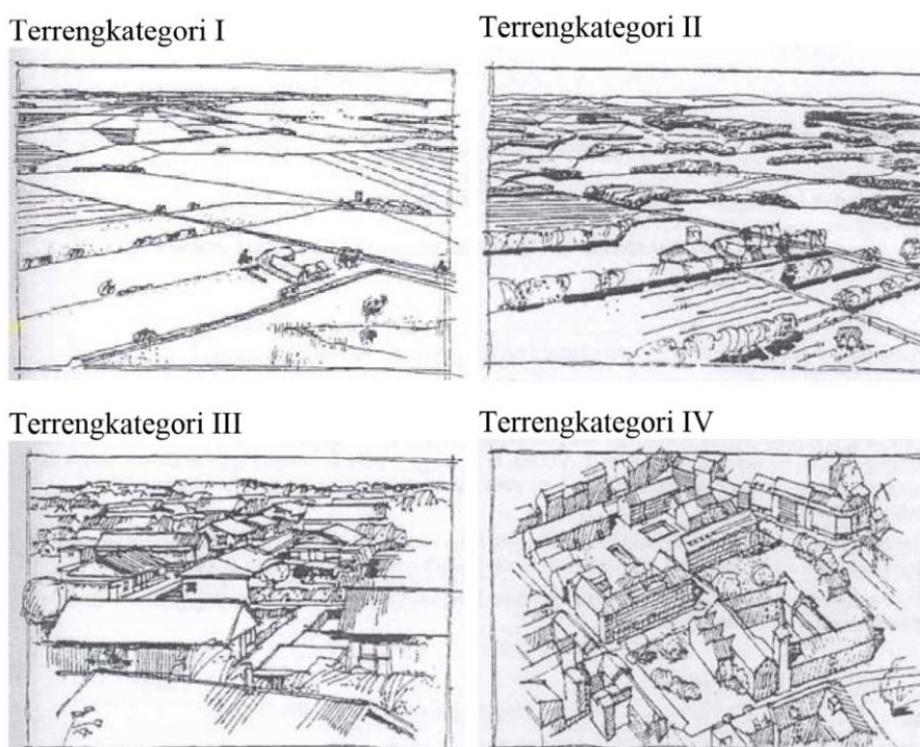
Metoden beskrevet i NS-EN ISO 15927-3:2009 er utviklet fra undersøkelser gjort i Storbritannia og dermed vil metoden i standarden kunne brukes i områder med lignende klimatiske forhold (Standard Norge, 2009). Områder der mer enn 25% av nedbøren kommer fra kraftige stormer eller at en vesentlig del av nedbøren kommer som snø/hagl gjør metoden uegnet. Områder med klipper og bratte daler gjør også denne metoden uegnet ved beregning av slagregnsindeks.

#### 2.2.4 Slagregnsindeks for fasade

Slagregnsindeksen omtalt i kapittel 2.2.3 angir slagregnet uten noen form for skjerming. Denne slagregnsindeksen kan konverteres til en indeks som er gjeldende for slagregns på kjenningsene mot en veggflate. Konverteringen krever at man tar høyde for lokale parametere som terreng, topografi, bebyggelse og fasadens egen utforming. Fellesnevneren for disse parametere er at vinden er hoveddriveren bak slagregn. Videre er det sett nærmere på disse faktorene.

## Terrengets påvirkning

Når man omtaler terrengets overflate i denne sammenhengen, ser man på dets ruhet. Lufthastigheten langs terrenget vil være avhengig av motstanden den får, i form av ruheten til overflaten og høyde over terrengnivå. Man kan beskrive i hvor stor grad vindhastigheten bremses av terrenget basert på hvilken terrengkategori landskapet tilhører (Noreng & Strandholmen, 2004). Lav ruhet vil si lite motstand og relativt flatt landskap, mens høy ruhet gir stor motstand og større reduksjon i vindhastighet. I Figur 8 kan man se forskjellige terrengkategorier og hvordan slike landskap kan se ut.



Figur 8 Terrengkategorier (Noreng & Strandholmen, 2004).

Ved valg av terrengkategori anbefales det å være konservativ (Noreng & Strandholmen, 2004). Ved tvil om kategori anbefales det å velge en kategori med lavest ruhet. Dette anbefales med bakgrunn i at det kan være komplisert å plassere et landskap innenfor de bestemte kategoriene. Terreng er sjeldent idealistisk og lett å kategorisere.

Ved overgang mellom forskjellige terrengkategorier kan man vurdere å beregne overgangen mellom ruhetsfaktorene. Ved en konservativ metodikk kan man benytte den laveste terrengruheten, noe som gir en forenklet tilnærming (Standard Norge, 2009).

## Topografiens påvirkning

Fjell, åser, klipper og skråninger vil påvirke vindhastigheten. Når vinden presses opp og over helninger, vil vindhastigheten øke nær toppen av helningen (Standard Norge, 2009). Vindhastigheten i disse beregningene vil påvirkes av topografien dersom beregningsområdet ligger i en helning.

## Nabobyggs påvirkning

Det er flere tilnærminger man kan benytte når det skal tas hensyn til nabobebyggelse. NS-EN 1991-1-4:2005 presenterer to metoder for å hensynta nærliggende bygg. En tilnærming tar for seg påvirkningene fra et bygg som er mer enn to ganger høyere enn gjennomsnittshøyden for bebyggelsen. En annen tilnærming er å heve grunnivået manuelt til en modifisert høyde med bakgrunn i bebyggelsens gjennomsnittlige høyde. Denne metoden hever vindprofilen som om bakken teoretisk sett er hevet.

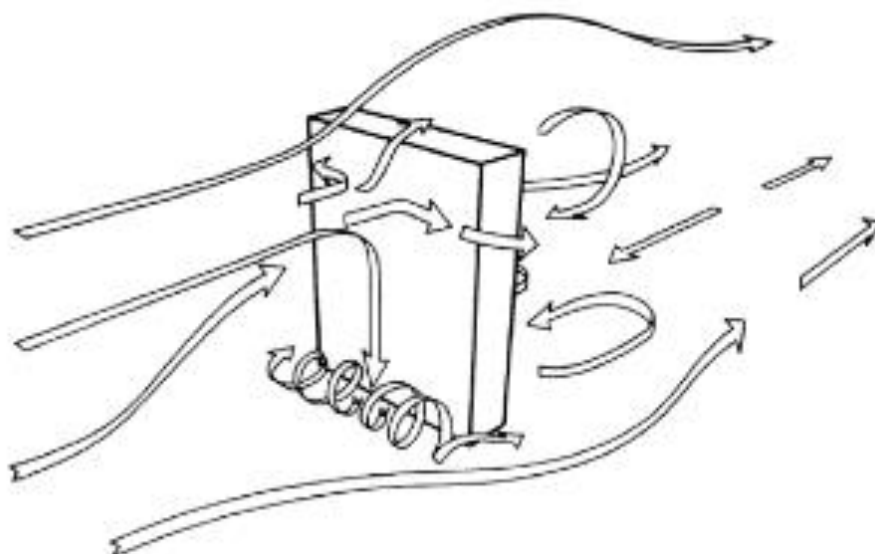
I denne oppgaven vil det være naturlig å benytte den forenklete metoden i NS-EN ISO 15927-3:2009. Dette er en fremgangsmåte som ser på hvordan nabobebyggelse påvirker slagregnsindeksen. Det nærmeste bygget vil gi en skjermingseffekt for fasaden, hvor høyden og den horisontale avstanden er dimensjonerende for skjermingsfaktoren.

Nærliggende bebyggelse vil gi en skjermingseffekt helt opp til 120 m fra utsatt fasade (Standard Norge, 2009). Bygninger nærmere enn 4 m fra fasaden vil kunne redusere slagregns påkjennningene mot utsatt fasade med mer enn 80%.

## Byggets utforming

Strømningsbildet til et frittstående bygg avhenger av byggets utforming, bredde, høyde, takform og vinkel mellom vind og fasade (Norconsult, 2016). Dette feltet er stadig forsket på, både med eksperimentelle og teoretiske studier (Thue, 2016). Uten å gå detaljert inn på teorien bak, er det forsøkt å kartlegge det prinsipielle strømningsbildet rundt et bygg.

Det kan oppstå store vindhastigheter mot og/eller langs ytterflatene til et bygg. Av dette vil det kunne oppstå store trykk- og sugkrefter langs overflaten (Thue, 2016). Prinsipielt vil vind vinkelrett på en overflate danne strømningsbildet vist i Figur 9.



Figur 9 Vind mot fasade (Norconsult, 2016).

Vindhastigheten reduseres noe når det treffer en hindring, og trykket øker (Thue, 2016). Strømningen vil bøyes opp og over, eller rundt hindringen og danne virvler som man kan se i bunn av Figur 9. Vindhastigheten og retningen vil i virkeligheten variere veldig innenfor et tidsrom, da luftbevegelsene er i konstant endring og opptrer dynamisk (Thue, 2016). Man benytter derfor gjennomsnittsverdier når man betrakter vindbelastninger på veggflater.

Effekten byggets form har på vindhastighetene uttrykkes ved hjelp av formfaktorer (SINTEF community, 2003). NS-EN 1991-1-4:2005 kan benyttes for å beregne formfaktorer for fasader og tak i vindlastsammenheng. Strømningsbildet rundt et bestemt bygg i et tettbebyggt område kan være komplisert å beregne.

I sammenheng med slagregnsberegning benytter man veggfaktorer som en parameter for byggets utforming. Dette er en forenklet metode for å fastslå i hvilken grad byggets utforming påvirker slagregnsindeksen for fasaden. Metoden er presentert i NS-EN ISO 15927-3:2009, hvor ytterveggs-soner har tilhørende veggfaktorer basert på byggets form.

### **Sammensatt bilde**

Byggets utforming, nabobyggs skjermingsbidrag, topografi og terrengets ruhet er alle faktorer som benyttes for å konvertere lokal slagregnsindeks til slagregnsindeks for fasade. Tar man høyde for disse faktorene vil slagregnsindeksen justeres til en spesifikk fasade. Med andre ord er det kun en del av slagregnet som faktisk når frem til veggflaten. I spesielle situasjoner hvor topografi øker vindhastigheten, eksempelvis i skråninger, ved åstopper og lignende, kan slagregnsindeks for fasade være større enn lokal slagregnsindeks (Blocken & Carmeliet, 2004).



## 3 Metode

### 3.1 Laboratorieforsøk

Forsøkene beskrevet videre i kapittelet er gjort i samarbeid med SINTEF. SINTEF har stilt til rådighet testskap for slagregns påkjønning, og laboratoriumstekniker til å bistå under testingen. Dette kapittelet beskriver oppbygningen av prøvefelt, testmetoden og hva som har blitt testet.

#### 3.1.1 Litteraturstudie

Målet med metoden er å sikre åpenhet og mulighet for reproduksjon. Første steget i litteratursøket var å definere rammene for søket. Først ble forskningsspørsmålet definert. Forskningsspørsmålet var med på å utforme søkeordene og hvilke kriterier søkeresultatene mått oppfylle. Forskningsspørsmålet litteratursøket skulle besvare er: hva er gjort og funnet i tidligere utførte laboratorieforsøk?

Nøkkelordene som er brukt til søket er vist i Tabell 5. Her er det brukt booleanske operatører som setter sammen søkeordene. Søkeordene er formulert etter litteratur gjennomgått i forprosjektet. Det ble brukt tre databaser ved litteratursøket: Scopus, Web of Science og Engineering Village.

Litteratursøket ga et bredt resultat med mange lite relevante treff. Tabell 6 viser ekskluderingsprosessen for å finne frem til de relevante kildene. Andre ekskludering er på bakgrunn av kategori kilden ligger under. Det var bare Scopus og Web of Science dette var relevant for. Kategoriene som det ble selektert for er vist i Tabell 7. I Tabell 8 er antallet publikasjoner gitt for hvert steg i ekskluderingsprosessen og etter database.

Tabell 5 Søkeord og booleanske operatører.

<b>Population</b>	<b>Intervention (AND)</b>	<b>Outcome (AND)</b>
Walls OR Façade OR Exterior walls OR Ventilated façade	Open Joint cladding OR Open joints OR Ventilated Cladding OR Ventilated façade Cladding	Rain penetration OR Water penetration OR Driving rain OR Water intrusion OR Intrusion rates OR Leakages OR Wind driven rain OR Watertightness OR Laboratory test

Tabell 6 Ekskluderingsprosessen under litteraturstudiet.

Ekskludering	Metode	Hva er ekskludert
1	Kvalitativ basert på type litteratur.	Litteratur som ikke er skrevet på engelsk, norsk, svensk eller dansk.
2	Kvalitativ basert på kategori.	Litteratur som ikke ligger under relevante fagområder, med tanke på forskningsspørsmålet.
3	Kvalitativ basert på søkeordene.	Litteratur som ikke er relevant for forskningsspørsmålet.
4	Kvalitativ basert på abstraktet.	
5	Kvalitativ basert på full artikkel.	

Tabell 7 Kategorier brukt under litteratursøket ved de ulike databasene.

Scopus	Web of Science	Engineering Village
Engineering Materials Science	Construction Building Technology Engineering Civil Materials Science Characterization Testing Materials Science Multidisciplinary Materials Science Composites	-

Tabell 8 Antall kilder i hvert trinn av søkeprosessen.

Trinn	Scopus	Web of Science	Engineering Village
<b>Første søk</b>	172	93	231
<b>Etter første ekskludering</b>	167	93	226
<b>Etter andre ekskludering</b>	151	67	-
<b>Etter tredje ekskludering</b>	54	18	42
<b>Etter fjerde ekskludering</b>	25	7	15
<b>Alle resultater</b>	47		
<b>Duplikater fjernet</b>	42		
<b>Etter femte ekskludering</b>	23		

Litteraturstudien ble gjennomført for å gi et godt grunnlag til å utarbeide en prøvemethode og en prøveplan, samt hva som er relevant å undersøke nærmere i et laboratorieforsøk. Ved å identifisere tidligere utførte forsøk og hvilke resultater som er funnet, vil det gi et godt sammenligningsgrunnlag for resultatene i dette laboratorieforsøket.

### 3.1.2 Oppbygging av fasadefeltene

For å teste plateprodukters motstandsdyktighet mot nedbørspåkjenninger ble det bygget et veggelement i slagregnsskapet til SINTEF som illustrert i Figur 10 og Figur 11. Bakveggen skal kunne benyttes til å teste flere plateprodukter med varierende fugeutforminger. Veggflaten skal deles inn i to forsøksfelt, slik at man kan gjennomføre to forsøk samtidig. Oppbygningsprinsippene fra Byggforskserien (SINTEF community, 2019) ble fulgt ved konstruksjon av stenderverk, vindsperre, utlekking og platemontering, for å sikre forsøkenes likhet med virkeligheten.



Figur 10 Veggelement fremside.

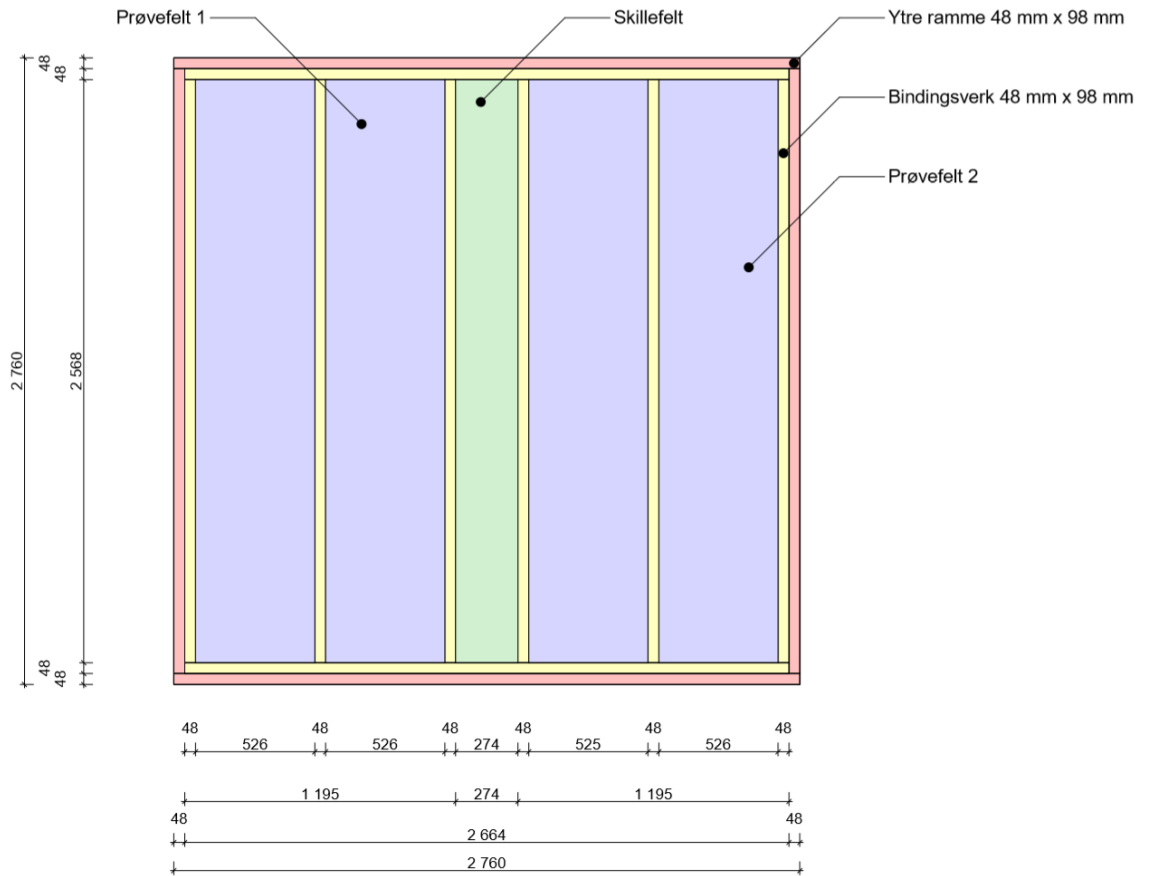


Figur 11 Veggelement bakside.

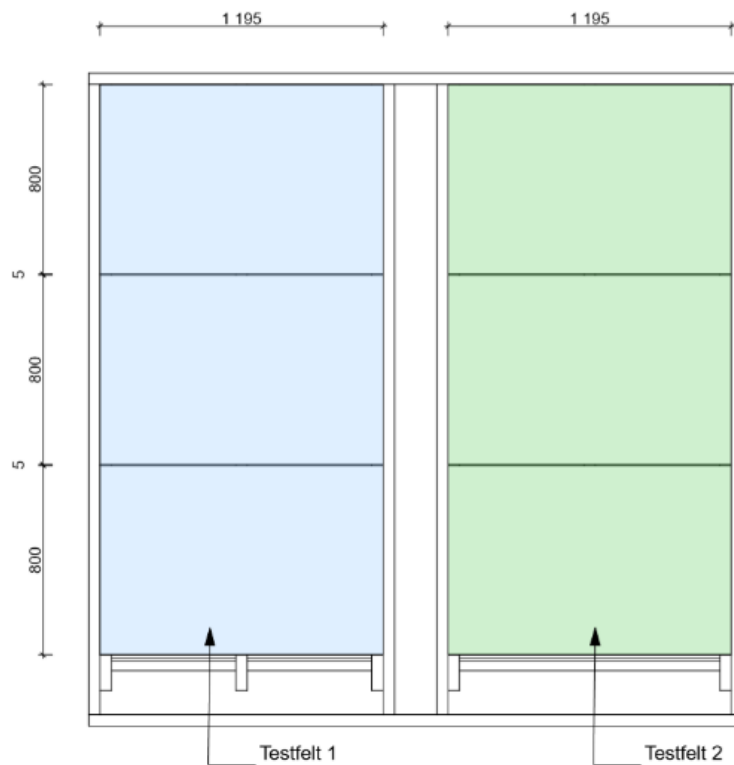
Veggen ble konstruert med 48 mm x 98 mm konstruksjonsvirke, med en transparent Lexanplate (Polykarbonatplate) som vindsperre. Dette for å sikre observasjonsmuligheter under forsøket fra baksiden/utsiden av slagregnsskapet. Lektene hadde en dimensjon på 30 mm x 48 mm. Dimensjonen er basert på anbefalinger fra produsenter og minimums- og maksimumskrav. De fleste leverandører krever minimum 23 mm, mens noen krever minimum 30 mm. Maksimal anbefalt tykkelse på lekter er for de strengeste løsningene på 28 mm. Disse ble festet vertikalt på bakenforliggende bindingsverk, med en standard senteravstand på 600 mm. Fasadeplatene ble montert etter tilhørende monteringsanvisning fra leverandør. Konstruksjonen av fasadeelementet og montering/demontering av platekledninger ble utført under oppsyn og av faglært personell. Det var også laboratorieteknisk personell fra SINTEF tilgjengelig under ombygging og testing. Dette sikret konstruksjonens kvalitet og likhet med reelle fasader.

#### Beskrivelse av prøvefelt

Av Figur 12 og Figur 13 ser man hvordan riggen skulle konstrueres. Disse tegningene kan anses som «som bygget» tegninger. Fra baksiden (Figur 12) kan man se hvordan stenderverket er inndelt, og hvilke mål som er brukt. Fra fremsiden (Figur 13) kan man se inndeling av prøvefeltene og dimensjonene til platekledningene som skal testes.

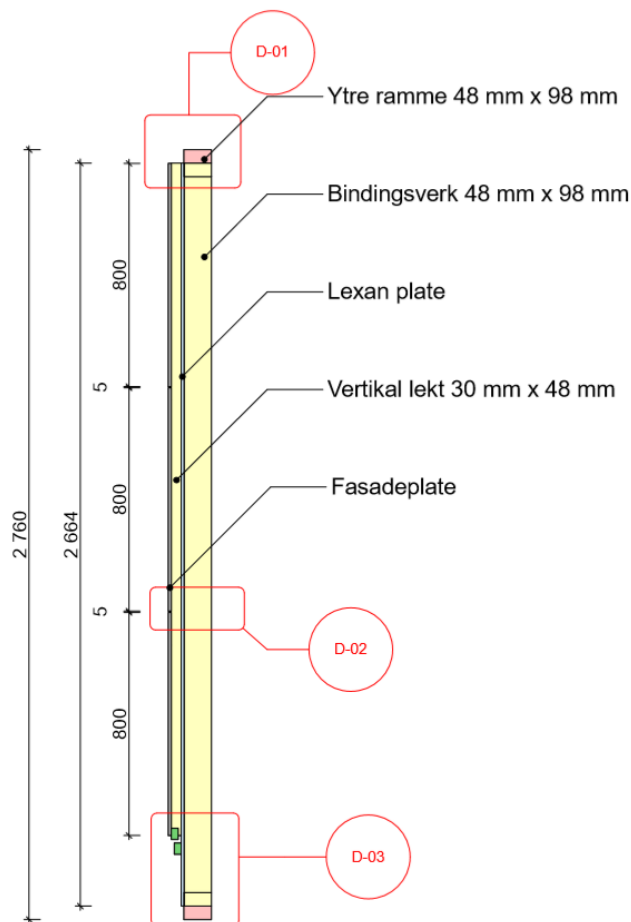


Figur 12 Bakside rigg.



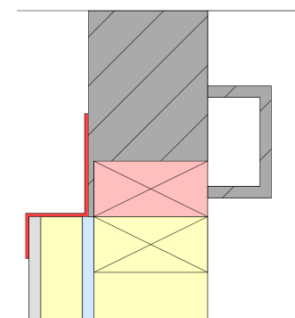
Figur 13 Fremside rigg.

Av Figur 14 ser man snittet av riggen. Det er markert tre detaljer som vil være av interesse under forsøkene. Snittet viser mål som skal benyttes under forsøket, og oppbygningen av konstruksjonen. Man ser av figuren at fasaden vil ha tre horisontale fugespalter.

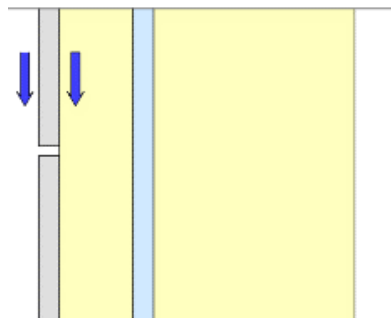


Figur 14 Snitt av rigg.

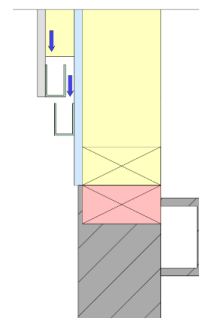
Figur 15 og Figur 17 viser hvordan konstruksjonen ble forankret i sjablongen (stålramme som settes i slagregnsskap). I disse områdene ble det tettet grundig i overgangene, slik at lekkasjer ikke påvirket vannmålingene under testingen. Figur 17 viser også hvordan rennesystemet skal monteres. Det ble montert renner slik at nedsildrende vann ble samlet opp og målt. I denne detaljen er det viktig med tilstrekkelig fall i renner. Gjennomføringer og overganger i rennen må være tilstrekkelig tettet og dimensjonert for vannmengdene den belastes for. Figur 16 viser hvordan man kan anta vannstrømmene vil dannes i snittet. Ved montering av platene ble det benyttet avstandsklosser, slik at alle fugespalter fikk den tiltenkte dimensjonen.



Figur 15 Detalj 01, innfesting overkant.



Figur 16 Detalj 02, fugespalte.



Figur 17 Detalj 03, innfesting underkant.

### 3.1.3 Produkter som testes

Fasadeplatene brukt i forsøkene er levert av de største aktørene i bransjen. Produktene er noen av de mest utbredte i dagens bygg- og anleggsbransje. Det er mottatt plateprodukter, og tilbehør som profiler, tetteremser og skruer. Dette er produkter som trengs for å komplettere prøvefeltene etter produsentenes monteringsanvisning.

### Platekledninger

Når plateprodukter er innhentet til testing er det forsøkt å innhente produkter som skiller seg ut fra hverandre. Det er forsøkt å teste plater med ulike egenskaper når det gjelder overflatestruktur, tykkelser og monteringsløsninger. I Tabell 9 kan man se alle plateproduktene som er inkludert i forsøkene og hvilke profilløsninger som er kompatible med platene.




Tabell 9 Testede plateprodukter.

Plate	Materiale	Overflate	Dimensjon BxH [mm]	Tykkelse [mm]	Anbefalt fugebredde	Profilløsning
1	Fibersement	Ubehandlet Sandblåst	1192x800	8	5	1, 3
2	Fibersement	Behandlet Gjennomfarget	1192x800	8	5	1, 3
3	Glassfiber	Malt Glatt akryl	1195x840	6	5	1, 2, 3
4	Glassfiber	Ru Knust naturstein	1195x840	6	5	1, 2, 3
5	Høytrykkslaminat	Malt Glatt akryl	1200x800	8	8	1, 3
6	Herdet glass Glassgranulat	Glassflate	1200x800	30	5-10	Ikke aktuelt

## Profiler

Det er mottatt tre forskjellige horisontalprofiler, hvor alle tre er utbredt i Norge. Profilene leveres av plateleverandørene, og har som funksjon å gi en enda tettere regnskjerm, noe som kan være gunstig i slagregnutsatte områder. I Tabell 10 presenteres de forskjellige profilene som er testet.

Tabell 10 Testede profiler.



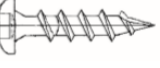





Profil nr.	Materiale	Tykkelse [mm]	Bredde [mm]	Form
1	Aluminium	1	30	
2	Aluminium	1	30	
3	Aluminium	1	30	

Profil 2 og 3 er hovedsakelig horisontalprofiler. Profil 1 er en flerbruksprofil som også kan benyttes i vertikalfuger. Alle tre produkter har samme funksjon. Både Byggforskserien og leverandører anbefaler at disse benyttes, særlig i slagregnutsatte områder. Profilene anbefales montert i horisontalfuger med bredde 8-10 mm. Ved montering ble profilene kappet i samme lengde som horisontalfugen, og sentrert i fugen. Profilene ble klemt på plass da fasadeplatene ble skrudd på plass.

## Annet tilbehør

For å få en komplett fasadekledning leverte leverandørene nødvendig tilbehør. For korrekt montering ble utstyr som diamantblad til kapping, bor til hulltagning, skruer til innfestning og tetterems til tetting levert sammen med platene. Både fibersement- og glassfiberplatene krever spesialutstyr for riktig behandling når det gjelder kapping og forboring. Til montering av platene ble tilhørende produkter benyttet. Av Tabell 11 ser man hvilke produkter som ble benyttet til platene.

Tabell 11 Andre benyttede produkter.

Plate	Produkt	Beskrivelse
<b>Fibersement</b>		36 mm monteringsskruer med pakning og vinger. Pakningen har som funksjon å hindre vann i å trenge inn i skrueshullene. Ved bruk av vingeskruer er det ikke nødvendig å forbore platene. Ved bruk av skruer uten vinger må platene forbores for å unngå sprekkdannelse.
		Ved montering av plater på trelekter er det nødvendig med tetteremse for å skille trelekten fra plateflaten. Tetteremsen skal være minst like bred som lekten. Dens funksjon er å ta opp ujevnheter i lekten, gi fleksibel montering og hindre vann i å trenge gjennom via lekt. Tetteremse for fibersementplatene har riller og var like bre som lekten.
<b>Glassfiber</b>		33 mm monteringsskruer. Krever forboring av plate. Viktig å bruke riktig dimensjon på bor, Ø 5,5 mm.
		Ved montering av plater på trelekter er det nødvendig med tetteremse for å skille trelekt fra plateflate. Tetteremsen skal være minst like bred som lekten. Dens funksjon er å ta opp ujevnheter i lekten, gi fleksibel montering og hindre vann i å trenge gjennom via lekt. Tetteremse for glassfiberplatene er helt flat og var noe bredere en lekten.
<b>Høytrykkslaminat</b>		33 mm monteringsskruer. Krever forboring av plate. Viktig å bruke riktig dimensjon på bor, Ø 5,5 mm.
		Ved montering av plater på trelekter er det nødvendig med tetteremse for å skille trelekt fra plateflate. Tetteremsen skal være minst like bred som lekten. Dens funksjon er å ta opp ujevnheter i lekten, gi fleksibel montering og hindre vann i å trenge gjennom via lekt. Tetteremse for glassfiberplatene er helt flat.
<b>Herdet glass</b>		Leverandør anbefaler bruk av utendørs treskruer til montering av horisontallekter. Det ble brukt 36 mm treskruer til innfesting av lekter.
		Platene kommer med egne horisontallekter som skrues direkte på vertikallekt. Disse er utformet slik at platene kan hektes på uten videre innfesting. Platene er justerbare i både horisontal- og vertikalretning.

### 3.1.4 Gjennomføring av forsøk

Først ble prøvefeltet bygd som beskrevet inn i en stålsjablone. Alt utenom fasadeplatene og tilbehøret vist i Tabell 11 var konstant under alle forsøkene. Mellom forsøkene ble fasadeplatene byttet ut, og underveis ble også gummifugebåndet byttet, slik at gummifugebåndet ble brukt med fasadeplatene fra samme leverandør.

Slagregnskasket er satt opp og tilpasset testing av regntetthet i henhold til NS-EN 1027:2016. Skapet er utstyrt med en vertikal regulerbar dyserekke og med innbyrdes avstand mellom dysene på 400 mm. Hver dyse er innstilt til å gi en vannmengde på 2 l/min, som fordeler seg som en sirkelflate på testobjektet. Dette gir en vannmengde på



5 l/min per meter, som tilsvarer ca. 6 l/min per testfelt. Dyserekken kan reguleres i to vinkler, 24 grader og 84 grader i forhold til horisontalplanet. Det er også mulig å ha et overtrykk i skapet opptil 1500 Pa. Dyserekken ble plassert slik at mesteparten av vannet ble spylt på oversiden av fugen, men noe ble også spylt direkte på fugen.

Hovedsakelig ble testene utført uten trykk, men under noen enkeltforsøk ble det testet med trykk for å evaluere effekten. Kledningen er utført som en luftet kledning og dermed vil nesten all trykkforskjell være over bakveggen og minimalt over kledningen. Derfor ble det valgt å gjennomføre forsøkene uten overtrykk i skapet. I tillegg vil testing med trykk være mer tid- og ressurskrevende. Figur 18 viser slagregnsskapet når sjablongen med fasadeplatene er heist inn og dyserekken er senket ned i posisjon.



*Figur 18 Testrigg festet inn i slagregnsskap med dyserekken senket ned i testposisjon.*

Ved ombygging av fasadefeltene ble det benyttet digitalt skyvelære for å sikre at fugebredden ble korrekt sammen med avstandsklosser i fugen. Så langt det lot seg gjøre ble monteringsanvisningen fulgt så lenge det ikke hindret det som skulle testes. Ved bruk av disse hjelpemidlene var variasjonen i fugebredden på  $\pm 0,2$  mm, noe som ble ansett som akseptabelt og innenfor det som kan forventes på en byggeplass.

Når prøvefeltet var bygd om og klart for testing, ble vannet satt på. Det ble gjort kontinuerlige observasjoner av prøvefeltet, samt film og bilder. Etter ca. 10 minutter med vannsprut ble det tatt målinger av mengde vann på bakvegg og bakside plate, se 3.1.5 Måling av vanninntrengning.

Ved test av profilene og glassfiberplatene med 3 mm fug, ble det også testet med overtrykk i testskapet. Her ble det ikke tatt målinger, men kun gjort visuelle observasjoner. Ved testing av 3 mm fugespalte uten profil ble det benyttet 50 Pa overtrykk. Ved testing av profilene ble det testet med trykk trinnvis opp til 600 Pa, etter NS-EN 1027.

### 3.1.5 Måling av vanninntrengning

Når vanninntrengning skal måles i disse forsøkene, ser man på hvor mye vann som trenger gjennom de horisontale fugene. For disse forsøkene er det sentralt å kartlegge hvor mye vann som renner inn på bakside plate, og hvor mye vann som når bakveggen. Prøvefeltet er derfor utstyrt med renner og oppsamlingspunkt på fire steder, to målepunkt per testfelt.

Av Figur 19 kan man se oppsamlingspunktene til forsøksfeltet. De øverste rørene er koblet til renner som samler opp vann fra bakvegg, og de nederste rørene er koblet til renner som samler opp vann fra bakside plate.



*Figur 19 Rennesystem prøvefelt*

Rennene er teipet fast på overflatene hvor oppsamlingsvannet renner. Rennene er montert med kontinuerlig fall mot oppsamlingspunkt. Kapasiteten til rennene ble testet før forsøkene ble satt i gang. Under forsøkene ble de nøye observert for feilkilder.

Før målingene ble tatt, ble prøvefeltene belastet av slagregn i ca. 10 minutter. Dette ble gjort da det var ønskelig at vannstrømmer skulle normalisere seg, og prøvefeltet være gjennomfuktet.

Ved målinger ble en bestemt metode benyttet for alle forsøk. Målinger fra bakside plate ble samlet i et stort kar, da vannmengdene her ofte var store. Målinger fra bakvegg ble samlet i et mindre kar. For å hindre eksternt vann fra å påvirke resultatene, ble det benyttet mansjetter på rør og plastfolie til å dekke karene. Av Figur 20 og Figur 21 kan man se prosessen for målinger. Det ble tatt én måling på 60 sekunder for begge målepunkt for hvert prøvefelt. Av praktiske og tidsmessige årsaker ble det ikke tatt flere målinger eller over lengre intervaller.



Figur 20 Oppsamling bakside plate



Figur 21 Oppsamlingspunkt bakvegg

### 3.1.6 Undersøkte parametere

Ved utførelse av dette laboratorieforsøket er det valgt å undersøke nærmere hva som fører til at vann trenger inn i horisontale fugespalter. For å besvare dette er det sett nærmere på noen hovedpunkter:

- Sammenhengen mellom fugebredden og vanninntrengning, hvordan utvikler vanninntrengningen seg ved ulike fugebredde. Her blir det hovedsakelig sett på 3 mm, 5 mm og 8 mm fugebredde, med det er også gjennomført tester med fugebredder på 10 mm, 15 mm og 20 mm.
- Profilløsninger eller utforminger av fugen og hvilken effekt dette har på vanninntrengningen. Her blir det undersøkt tre ulike profiler og ulik geometrisk utforming av fugespalten.
- Hvilken effekt overflatestrukturen til platene eller tykkelsen har på mengden inntrengende vann.
- Det ble også bli gjort observasjoner kontinuerlig under testingen for å undersøke om det er andre faktorer som har innvirkning på vanninntrengningen.

Fra leverandørsiden gis det ulike anbefalinger for hvilke fugebredder som anbefales. Ved å teste ulike fugebredder vil man kunne se hvilken bredde som er best med tanke på vanninntrengning. Noe uavhengig av fugebredden vil også disse testene gi et klarere bilde av hvordan vannet fordeler seg på en fasade med åpne horisontalfuger. Målet er dermed å kunne si noe om hvilken fugebredde som fører til minst vanninntrengning og belyse mengden vann som kommer på innsiden av kledningen ved de ulike fugebreddene.

Fra leverandørene av fasadeplater tilbys det også ulike former for profilløsninger. Disse profilene er antatt å redusere vanninntrengningen, men profilene er i liten grad testet. Dermed er effekten av å benytte slike profiler ukjent. Dermed ble det valgt å teste noen av fugeprofilene på markedet for å bedømme deres funksjon og nytteeffekten. Skråskjæring av platene og montering av platene med overheng ble også utført, noe som ble ansett som et kostnadseffektivt alternativ til profiler. Her ble det valgt løsninger som lignet prinsippet om dryppkant, og som ble antatt å redusere vanninntrengningen.

Platene som ble testet i dette forsøket har visse forskjeller ved seg, hovedsakelig overflatestruktur og tykkelse. Derfor er det også sett på om dette hadde en innvirkning på resultatene.

### 3.1.7 Prøveplan

Før arbeidet i laboratoriet startet ble det utarbeidet en prøveplan. Denne planen fungerte som en guide på hva som skulle gjennomføres i denne oppgaven, uten at den skulle fungere som en fasit. Det var flere elementer som spilet inn på hvilke tester som til slutt ble gjennomført. Antallet tester utført ble delvis begrenset av redusert tilgang til laboratoriet, men de mest relevante forsøkene ble likevel gjennomført. Tilgangen på materialer var også med på å diktere hva som ble testet, og alt av tilgjengelig materiell ble testet. Underveis i testingen ble det fortløpende vurdert hvilke tester som ville gi de mest relevante testresultatene. Det ble også gjort en vurdering av tidsforbruket av hver enkelt test for å utføre flest mulig tester. Endelig prøveplan er vist i Tabell 12. Noen av testene ble gjennomført av SINTEF sitt eget personell på grunn av adgangsrestriksjoner.

Tabell 12 Prøveplan for forsøk i laboratoriet til SINTEF.  
 \*Forsøk utført av SINTEF og oppgavens forfattere.  
 \*\* Forsøk utført av SINTEF.

Forsøks- nr.	Fasadeplate	Fugespalte	Profil/utforming
1*	Glassfiber glatt	3	-
2*	Glassfiber knust stein	3	-
3	Fibersement sandblåst	3	-
4	Fibersement malt	3	-
5	HPL malt	3	-
6*	Glassfiber glatt	5	-
7*	Glassfiber knust stein	5	-
8	Fibersement sandblåst	5	-
9	Fibersement malt	5	-
10	HPL malt	5	-
11*	Glassfiber glatt	8	-
12*	Glassfiber knust stein	8	-
13	Fibersement sandblåst	8	-
14	Fibersement malt	8	-
15	HPL malt	8	-
16	Herdet glass glatt	5	-
17	Herdet glass glatt	10	-
18	Herdet glass glatt	15	-
19	Herdet glass glatt	20	-
20**	Glassfiber glatt	8	FP 6-30
21**	Glassfiber knust stein	8	FP 6-30
22	Fibersement sandblåst	8	FP 6-30
23	Fibersement malt	8	FP 6-30
24	HPL malt	5	FP 6-30
25**	Glassfiber glatt	8	HP 7-30
26**	Glassfiber knust stein	8	HP 7-30
27	Fibersement sandblåst	8	HFP 7-30
28	Fibersement malt	8	HFP 7-30
29	HPL malt	5	HFP 7-30
30	Fibersement sandblåst	8	1/2 overheng
31	Fibersement malt	8	1/2 overheng
32	Fibersement sandblåst	8	1/1 overheng
33	Fibersement malt	8	1/1 overheng
34	HPL malt	5	Skråskjært overside
35	HPL malt	5	Skråskjært over- og underside

## 3.2 Beregning av slagregnsmengder

For å få et bedre bilde av klimabelastningen en fasade blir utsatt for, er det hentet inn værdata fra tre forskjellige byer i Norge: Oslo, Bergen og Trondheim. Værdataen ble så brukt til beregning av slagregnspåkjenningen. Videre ble det vist et eksempel som bruker slagregnsberegningene og laboratorieforsøkene til å synliggjøre hvor mye vann som trenger inn gjennom fasadeplatene.

### 3.2.1 Behandling av innhentet værdata

#### **Innhenting av data**

Ved innhenting av værdata ble Meteorologisk institutt sin nettbaserte database for vær og klima brukt. Denne tjenesten heter eKlima og gir tilgang til vær og klimadata. For å kunne utføre slagregnsberegninger etter NS-EN ISO 15927-3:2009 trengs det værdata på timesbasis for nedbør, vindhastighet og vindretning. I tillegg ble temperaturen på timesbasis hentet inn. Standarden gir en minimumsperiode på 10 år, men anbefaler at det benyttes data fra 20 eller 30 år. I utgangspunktet var det tenkt å hente inn timesdata fra de siste 10 år. Dette viste seg å ikke være mulig, da klimadata på timesbasis ikke er tilgjengelig så langt tilbake i tid. Det ble derfor benyttet data fra komplette år så langt tilbake i tid som det lot seg gjøre. For Blindern værstasjon er data fra 2011 til 2020 benyttet, for Florida værstasjon er data fra 2012 til 2020 benyttet, og for Voll værstasjon er data fra 2012 til 2020 unntatt 2017 benyttet. Totalt ble det samlet inn rundt 900 000 datapunkter fra de tre værstasjonene.

Dataen som ble samlet inn er vindhastighet, vindretning, nedbør og temperatur. Nedbøren er gitt som mm vannsøyle siste time. Vindhastigheten gir midlet hastighet siste 10 min før måling ved 10 m høyde (referansehøyde). Vindretningen gir generell vindretning siste 10 min før måling. Temperaturen er målt ved målestasjonen ved måletidspunktet. En vindmåling basert på siste hele time ville mulig ha gitt en mer presis sammenligning, men en slik måling er ikke tilgjengelig og det er dermed antatt at vindmåling fra siste 10 min kan brukes sammen med regndata fra siste time. Temperaturen ved måletidspunktet er brukt for hele timesintervallet.

Byene Oslo, Bergen og Trondheim ble valgt ved innhenting av data. Alle tre er store byer i norsk sammenheng, som gjør funnene fra disse værstasjonene relevante for flere. Værstasjonene Blindern, Florida og Voll er valgt på grunn av mengden tilgjengelig data ved værstasjonen. En tilleggsfaktor i valget er at værstasjonene ligger i byer med ulikt klima. Oslo ligger mer skjermet og har et innlandsklima. Her er det flere soldager, men opplever mer intense regnbyger. Bergen har et kystklima med mye regn. Trondheim har også et kystklima, men ligger noe lenger inn i landet og lengre nord sammenlignet med Bergen. Trondheim ligger et sted mellom Bergen og Oslo når det kommer til nedbørsmengde. I Tabell 13 er det gitt data på værstasjonene som ble benyttet i denne oppgaven.

Værdata på månedsbasis ble også hentet inn for samme tidsperiode ved de tre værstasjonene. Disse dataene ble brukt til å sammenligne nedbør, vindhastighet og temperatur med data på timesbasis. Denne sammenligningen kan si noe om det er feil i reparasjonen av timesdataen. Det er i tillegg hentet inn verdier som sammenligner nedbøren og temperaturen, med værnormalen for 1961-1990. Slik kan man enklere vurdere funnene i denne oppgaven opp mot andre studier.



Tabell 13 Målestasjon.

By	Målestasjon		moh.	Kommentar
	Nummer	Navn		
<b>Oslo</b>	18700	Blindern	94	Her er det tilgjengelig data tilbake til og med 2011. Generelt lite feil og mangler ved dette datasettet.
<b>Bergen</b>	50540	Florida	12	Her er det tilgjengelig data tilbake til og med 2012. Noe mangler i dataen ca. 0,5-1%.
<b>Trondheim</b>	68860	Voll	127	Her er det tilgjengelig data tilbake til og med 2012. Noe mangler i dataen og stedvis over lengre perioder. 2017 er tatt ut av datasettet på grunn av manglende regndata 5 av 12 mnd.

### Mangler og usikkerhet ved dataen

Kvaliteten på den innhentede dataen var varierende. Vurderingen av hvor kvalitetssikker dataen er kommer an på hvor mange kontroller dataen har passert. Ut ifra dette gis dataen et kvalitetsnivå som sier noe om hvor sikker dataen er. Ved innhenting av data er det tillatt innhenting av modelldata, som er den høyeste usikkerhetsgraden for data eKlima utgir. Sikkerheten i resultatene er antatt ivaretatt ved at det benyttes mange datapunkt i beregningen.

En værstasjon er et fysisk instrument som gjør kontinuerlige målinger, og det må derfor forventes at noe av dataen er usikker eller mangelfull. Manglende verdier over tid vil også kunne forekomme, på grunn av feil på måleinstrumentene eller andre feil på innretningen. Ekstremvær kan også være en årsak til at det forekommer manglende data, noe som vil føre til at mer kritiske verdier for slagregnsberegningene ikke blir tatt med. Dette er mer kritisk for steder med kortere nedbørsperioder og større grad av ekstremvær.

Selv ved bruk av mer usikker data var det en del manglende data, enten på grunn av for stor usikkerhet eller feil på måleinstrumentet/stasjonen. All dataen som ble samlet inn ble gjennomgått, og alle mangler i dataen ble fylt inn. For de punktene der det var mulig ble det benyttet lineær interpolasjon for å fylle ut de manglende datapunktene. Dette var metoden som oftest ble brukt for å fylle ut manglende verdier. Der værstasjonen hadde manglende data over lengre tid ble det først sett på data fra nærliggende værstasjoner. Eksempelvis ble værstasjonen på Flesland bruk som en erstatning for værstasjonen på Florida. Der det hverken var mulig å interpolere eller hente data fra nærliggende stasjoner ble det antatt 0 mm nedbør, noe som kun ble aktuelt ved bearbeiding av værdata fra Voll værstasjon. Store mangler ved dataen fra Voll i 2017, førte til at hele året ble utelatt fra beregningene. Her var det manglende nedbørsmengder i flere måneder, samt at Værnes værstasjon heller ikke hadde komplette data i samme tidsrom.

### 3.2.2 Beregning av slagregnsindeks

Dataen som ble hentet inn og bearbeidet ble i første omgang brukt til å beregne en slagregnsindeks etter metode gitt i NS-EN ISO 15927-3:2009. Som beskrevet tidligere er timesdata for fulle 10 år tilbake i tid ikke tilgjengelig, men det ble vurdert at antallet år med tilgjengelig data var tilstrekkelig til å gi sikre og gode nok svar.

Standarden gir en metode for utregning av slagregnsindeksen. Denne indeksen sier noe om hvor mye vann som treffer en vertikal flate der det ikke er noen form for skjerming. På grunn av dataens beskaffenhet er formelen tilpasset slik at den kan brukes med tilgjengelig data. Formelen under ble brukt til å beregne slagregnsindeksen:

*Formel 3 Årlig slagregnsindeks.*

$$I_{\theta} = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta)}{N}$$

Der:

- $I_{\theta}$  Slagregnsindeks for retning  $\theta$  (mm/år).
- $\frac{2}{9}$  Omgjøringsfaktor (s/m).
- $v$  Midlet vindhastighet siste 10 min i høyde 10 m.
- $r$  Nedbør i mm siste time.
- $\theta$  Vinkel mellom nord og veggens flatenormal.
- $D$  Midlet vindretning siste 10 min.

Summeringen gjøres for alle retninger som gir vind mot veggen, sektoren fra  $\theta - 90^{\circ}$  til  $\theta + 90^{\circ}$ . For at kun regn, og ikke snø, ble tatt med i beregningene ble hver time kontrollert mot temperaturen ved målestasjonen på måletidspunktet. Ved temperaturer under 0 grader ble det antatt at nedbøren kom som snø og ble dermed ikke tatt med i beregningen. Denne måten å skille regn og snø på har en viss usikkerhet ved seg, noe som vil medføre at denne metoden er best egnet på steder hvor en stor andel av nedbøren kommer i form av regn.

Ved bruk av alle tilgjengelige år med data ble det laget en slagregnsindeks for Oslo, Bergen og Trondheim ved bruk av Formel 3. Vindretningene ble delt opp i 10 graders intervall slikt at man enkelt kan bedømme kritisk retning. Slik formelen tilsa, ble alle timene for alle årene summert opp og dividert på antall år. Dette ble så gjentatt for alle 36 retningene. Resultatet fra denne utregningen ble til slutt samlet i en tabell for hver av byene, som viser gjennomsnittlig slagregnsindeks for hver av de 36 retningene.

Beregningene ble brukt videre til å finne årlig variasjon og hvor mye større påkjeningen var i året med mest slagregn. Dette ble gjort ved å dele opp datasettet etter år for hvert sted. Her ble det kun sett på fire vindretninger, nord (0 grader), øst (90 grader), sør (180 grader) og vest (270 grader). Det ble også sett på slagregn fra alle fire retningene i samme tidsrom.

Videre ble det sett på kortere intervaller, hvor av den største verdien i datasettet ble hentet frem. Intervaller på 4 uker, 1 uke, 1 dag, 6 timer og 1 time ble undersøkt. Her også ble det sett på de fire himmelretningene hver for seg og samlet. Beregning av kortere intervaller ble utført for å gi en bedre oversikt over værpåkjeningen i kortere nedbørsperioder.

### 3.2.3 Beregning av slagregnsindeks for fasade

Når værdataen er behandlet, vet man hvilke nedbørsmengder og vindhastigheter som opptrer i området, som igjen gir slagregnsindeksen. For å finne mengde slagregn som faktisk når en fasade, ble metoden beskrevet i NS-EN ISO 15927-3:2009 benyttet. Slagregnsindeksen omtalt i kapittel 3.2.2 tar for seg slagregnspåkjenninger som opptrer i et åpent landskap uten noe form for skjerming. I realiteten vil en slagregnsbelastning mot fasaden påvirkes av flere faktorer som avhenger av områdetets topografi, nærliggende bebyggelse og byggets utforming.

Metoden som ble brukt for å fastslå slagregnsindeksen for fasade krever informasjon om lokale forhold, da disse i stor grad påvirker de reelle belastningene en fasade utsettes for. Beregningene fungerer som en pekepinn, uten å være for fokusert på detaljer rundt lokale forhold og byggets utforming. Resultatene fungerer som et grovt estimat som belyser forskjellige faktorerers påvirkning på slagregnsindeksen. Under beregningene ble Formel 4 benyttet.

*Formel 4 Slagregnsindeks for vegg (Wall annual index).*

$$I_{WA} = I_A C_R C_T O W$$

Der:

$I_{WA}$	Veggens årlige slagregnsindeks
$I_A$	Årlig slagregnsindeks
$C_R$	Ruhetsfaktor, omliggende terrengs ruhet
$C_T$	Topografifaktor, områdetets topografi
$O$	Skjermingsfaktor, skjerming grunnet omliggende bebyggelse
$W$	Veggfaktor

Faktorene  $C_R$ ,  $C_T$ ,  $O$  og  $W$  er korreksjonsfaktorer. Produktet av disse vil være en sammensatt korreksjonsfaktor som enten reduserer eller øker slagregnsindeksen for en fasade.

Av metoden som ble brukt ser man at korreksjonsfaktorene varierer over samme fasade. Eksempelvis vil nabobygg kunne gi en skjermende effekt kun til deler av fasaden, da andre deler av samme fasade kan være høyere. Det er derfor hensiktsmessig å dele fasadeflaten opp i flere soner, slik at variasjonene over samme fasade regnes med. I beregningene ble alle fasader delt opp i rutenett på 5 m x 5 m, og har tilhørende korreksjonsfaktorer.

### 3.2.4 Eksempelberegning av slagregns påkjennning for et bygg

For å fremheve resultatene fra laboratorieforsøkene og resultatene fra slagregnsberegningene er det gjennomført en eksempelberegning. Ved å se på et eksempelbygg med fasadekledning tilsvarende forsøksobjektene, kan man kartlegge hvordan slagregn i realiteten vil belaste fasaden.



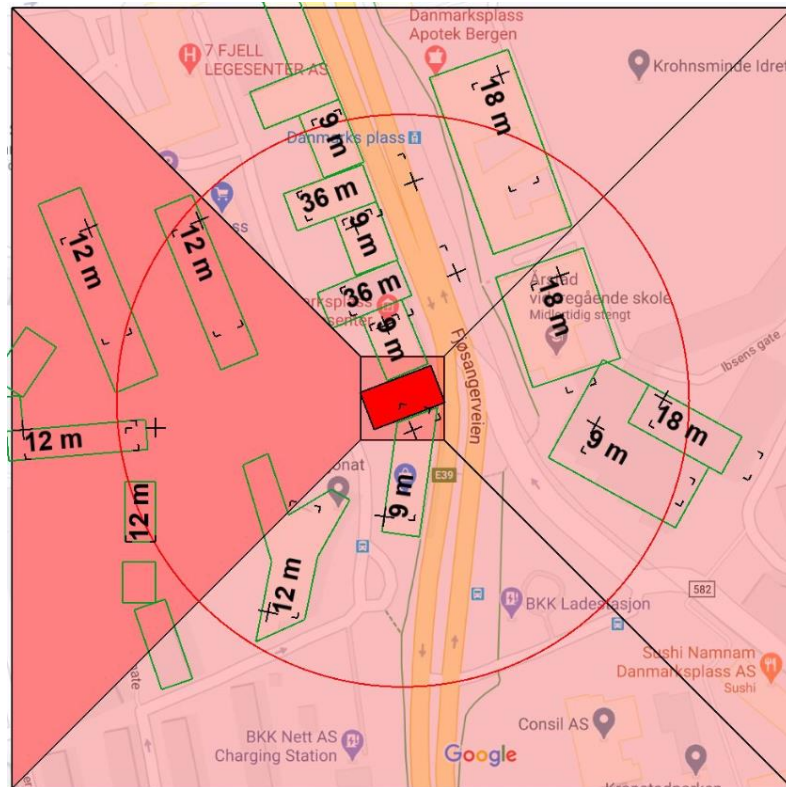
For å få resultater som kan være sammenlignbare med reelle bygg, er det valgt et eksempel som kan gjenspeile en reell situasjon. Næringsbygg, offentlige bygg, og større boligkomplekser kles ofte med plane fasadeplater, mens eneboliger, rekkehus og mindre byggeprosjekter benytter andre former for fasadekledning. Normalt vil større bygg plasseres i urbane strøk, og ikke frittstående ute på landet. Det er ønskelig at metoden og resultatet skal være generaliserende for lignende bygninger. Dette er bakgrunnen for valg som er tatt i beskrivelsen av eksempelet. Av praktiske årsaker har avstand til værstasjon med tilgjengelig værdata veid inn i valget av lokasjon på eksempelet.

### **Beskrivelse av eksempel**

Ved valg av eksempel er det valgt et bygg i Bergen som ligger i et urbant byområde, med adresse Fjøsangerveien 55. Eksempelbygget er 30 m langt og 16 m bredt. Det er ca. 35 m høyt, hvorav 25 m stikker frittstående over tilstøtende bygg.

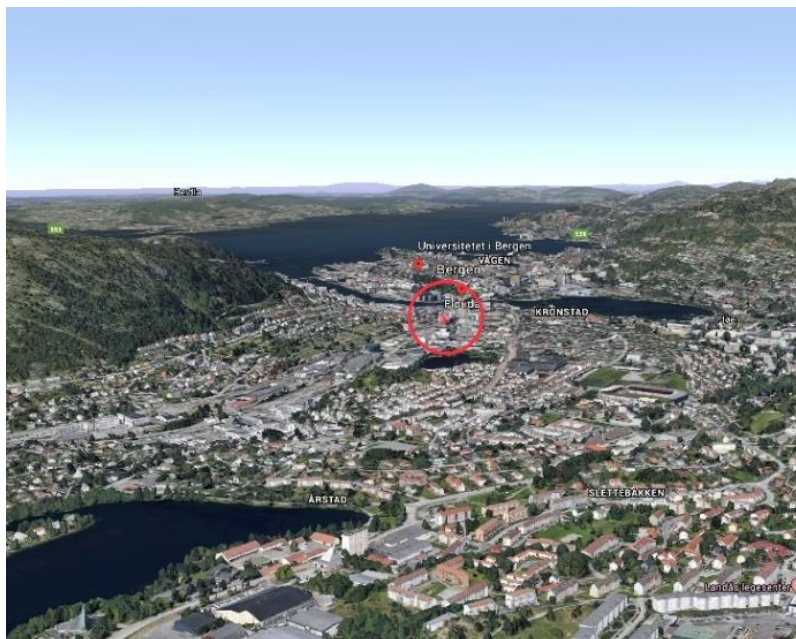
Eksempelbygget ligger omtrent 1 km fra værstasjonen på Florida. Værdata samlet inn på denne værstasjonen vil være godt egnet til å fastslå belastningene fasadene til eksempelbygget utsettes for.

Beskrivelsene av lokale forhold ble begrenset til et område innenfor en radius på 1 km, da forhold utenfor dette ikke vil ha innvirkning på beregningene. Vest for bygget er det tett bebyggelse med boligblokker og leilighetskomplekser på fire til fem etasjer. Området sør for bygget er noe mer åpent, og bebyggelsen er spredt. Østsiden er tettbebygd, men i motsetning til sørsiden er det noe lavere bebyggelse. Nord for bygget er det større avstand mellom byggene, og bebyggelsen er noe lavere enn vestsiden. Dette er illustrert i Figur 22, hvor himmelretningene og eksempelbygget er markert. Den røde sirkelen markerer et område rundt eksempelbygget med radius 120 m. De grønne firkantene markerer nabobygg som innvirker på slagregnsbelastningene. Som en forenkling er det valgt å referere til fasadene etter himmelretningene, selv om man av figuren kan se at det er noe skjevt. All belastning fra nord tilordnes derfor «nord-fasadene» som illustrert med de svarte diagonale strekene. Dette gjelder alle himmelretningene. Mørkere rødfarge angir tettere og høyere bebyggelse, mens lysere rødfarge angir åpnere og lavere bebyggelse.



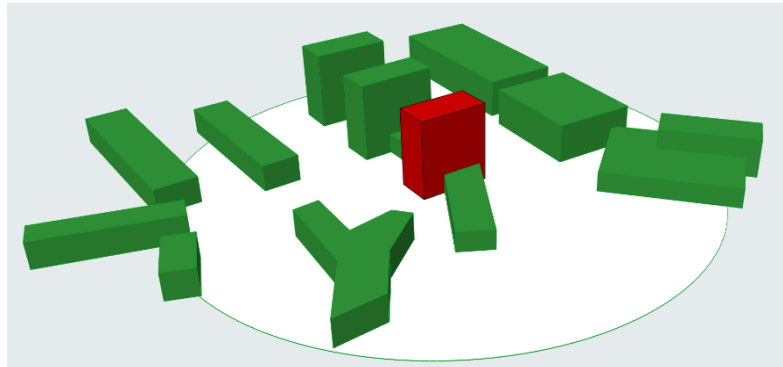
Figur 22 Bebyggelse rundt eksempelbygg.

I Figur 23 kan man se områdets topografi. Eksempelbygget ligger på ca. 18 moh. Vest for eksempelbygget ligger en liten fjelltopp. Det er ca. 400 m fra eksempelbygget til foten av fjellet. Fjellet har en høyde på 200-250 moh. Sett bort ifra denne toppen er landskapet relativt flatt nord, øst og sør for bygget. Høyere topper i området vil ikke virke inn på beregningene, da de faller utenfor metodens beskrivelser.



Figur 23 Topografi rundt eksempelbygg.

I Figur 24 er nærliggende bygg tegnet med grønne firkanter. Eksempelbygget er markert med en rød firkant. Den hvite ringen markerer et område med radius 120 m innenfor eksempelbygget. Stort sett er det noe lavere bebyggelse rundt bygget innenfor 120 m radius, sett bort ifra høyblokkene nord for eksempelbygget. Sørsiden står noe mer åpen, sett bort ifra tilstøtende bygg med høyde på 9 m.



Figur 24 Modell bebyggelse rundt eksempelbygg, sett fra sørvest.

## Beregnigner

Når slagregnsbelastningene ble kartlagt for fasaden til eksempelbygget, ble metoden presentert i Kapittel 3.2.3 benyttet. Trinnvis ble hver korreksjonsfaktor beregnet med bakgrunn i eksempelets lokale forhold.

Hver fasade ble delt opp i et rutenett på 5 m x 5 m. Faktorene som påvirker slagregnsindeksen vil bindes til hvert tilhørende felt i rutenettet. Dette vil gi et oversiktlig bilde på hvilke faktorer som virker inn på de forskjellige sonene på fasaden, og hvordan de endrer seg på de ulike delene av fasaden. Fasadenes rutenett med tilhørende faktorer kan sees i Vedlegg 1.

## $C_R$ , omliggende terrengs ruhet

Denne faktoren beskriver endringer i vindhastighet basert på veggens høyde over terreng og ruhet på terrenget rundt bygget. Ruhetsfaktoren  $C_R$  bestemmes ut ifra hvor høy veggen er, samt terrengkategorien ut ifra tabell 1 i NS-EN ISO 15927-3:2009.

Terrengkategorien avhenger av hvordan bebyggelsen er i et område på 1 km fra fasaden. Her vil åpent landskap uten særlig bebyggelse, sjø, eller innsjø gi en lav ruhetsfaktor. Urbane områder som bykjerner, byggefelt og lignende med bebyggelse hvor gjennomsnittshøyde er over 15 m, og terreng hvor minst 15% er bebygd vil gi høy ruhetsfaktor. Slike landskap vil bremse vinden betraktelig.

Med bakgrunn i Figur 25 har terrenget rundt eksempelbygget faktorene presentert i Tabell 14. Ved beregning av  $C_R$ , ble Formel 5 brukt, hvor  $Z$  er høyde over terreng ruhetsfaktoren beregnes for. Beregningene kan sees i Vedlegg 1.

Terrain category	Description	$K_R$	$z_0$	$z_{min}$
I	Rough open sea; lake shore with at least 5 km open water upwind and smooth flat country without obstacles	0,17	0,01	2
II	Farm land with boundary hedges, occasional small farm structures, houses or trees	0,19	0,05	4
III	Suburban or industrial areas and permanent forests	0,22	0,3	8
IV	Urban areas in which at least 15 % of the surface is covered with buildings of average height exceeding 15 m	0,24	1	16

Figur 25 Ruhetsfaktor (Standard Norge, 2009).

Formel 5 Ruhetsfaktor (Standard Norge, 2009).

$$C_R(z) = K_R \ln(z/z_0) \quad \text{for } z \geq z_{min}$$

$$C_R(z) = C_R(z_{min}) \quad \text{for } z < z_{min}$$

Tabell 14 Terrengets ruhet for eksempel.

Retning	Terreng kategori	$K_R$	$Z_0$	$Z_{min}$
Nordvendt	III	0,22	0,3	8
Sørvendt	III	0,22	0,3	8
Vestvendt	IV	0,24	1	16
Østvendt	III	0,22	0,3	8

### $C_T$ , områdets topografi

Topografifaktoren betrakter økning i vindhastigheter over åskammer og fjellskråninger (ikke kuperte fjellområder). Faktoren skal benyttes hvis området som studeres er plassert i en skråning, eller hvor området ligger innenfor 1,5 ganger høyden til nærliggende klipper eller åskammer. Denne faktoren var av mindre interesse i dette eksempelet, da landskapet som ble betraktet ikke tilsier at vindhastigheten skal få en økning rundt eksempelbygget.

### O, skjerming fra nærliggende bygninger

Basert på den horisontale avstanden mellom fasadene som betraktes og nærliggende hindringer, kan man anslå i hvilken grad fasaden er skjermet for vind. Ved kalkulering av skjermingsfaktoren må man ta høyde for fremtidige nærliggende bygg, felling av trær, eller andre tiltak som kan gi økt eller redusert skjerming. For denne beregningen ble det kun tatt hensyn til eksisterende bebyggelse rundt, mens vegetasjon i området hadde ingen relevant påvirkning.

Under beregning av skjerming fra nærliggende bygg ble bygget og bebyggelsen innen 120 m radius modellert, se Figur 24. Denne modellen fungerte som et verktøy for å fastslå skjermingen fra nabobygg. Avstander og høyder ble hentet ut fra modellen og brukt videre i beregningene. Disse beregningene kan sees i Vedlegg 1.

Fra NS-EN ISO 15927-3:2009 kan man hente ut skjermingsfaktorer tilhørende fasaden. Skjermingsfaktorene som ble beregnet ble plassert i det overordnede rutenettet for byggets fire fasader.

### W, veggfaktor

Mengde nedbør som treffer veggflaten avhenger av type vegg, høyde og bredde på veggen, samt andre faktorer som overheng og utforming. NS-EN ISO 15927-3:2009 presenterer Figur 26 som kan benyttes for å fastslå veggfaktoren (Tabell 4 i standarden). Tabellen baserer seg på utforming av vegg, takkonstruksjon og veggens høyde. Ved bruk av tabellen får man grove veggfaktorer som tilhører egne områder på veggflaten. Eksempelvis vil veggfaktoren lavt på veggen kunne være lavere enn høyt på veggen. Veggfaktorene fra tabellen ble hentet ut og plassert i det overordnede rutenettet for byggets fire fasader.

Description of wall	Average value	Distribution
Two-storey gable	0,4	
Three-storey gable	0,3	
Multi-storey building with flat roof (pitch < 20°)	0,2 for a ten-storey building, for example, but with a higher intensity at top	0,5 for top 2,5 m 0,2 for remainder
Two-storey wall with eaves	0,3	
Three-storey wall with eaves	0,4	
Two-storey building with flat roof (pitch < 20°)	0,4	

Figur 26 Veggfaktor (Standard Norge, 2009).

Eksempelbygget er ca. 35 m høyt, noe som tilsvarer ca. 10 etasjer. Bygget er, som de fleste næringsbygg i urbane områder, konstruert med flatt tak. Med bakgrunn i Figur 26 ble det sett som hensiktsmessig at de øverste feltene fikk en veggfaktor på 0,35, da øvre halvdel har en veggfaktor på 0,5 med en avstand på 2,5 m fra topp (eksempelbyggets rutenett har høyde på 5 m), og nedre på 0,2. De resterende feltene ble tildelt veggfaktor 0,2 i henhold til Figur 26.

### **Slagregnsindeks for fasade**

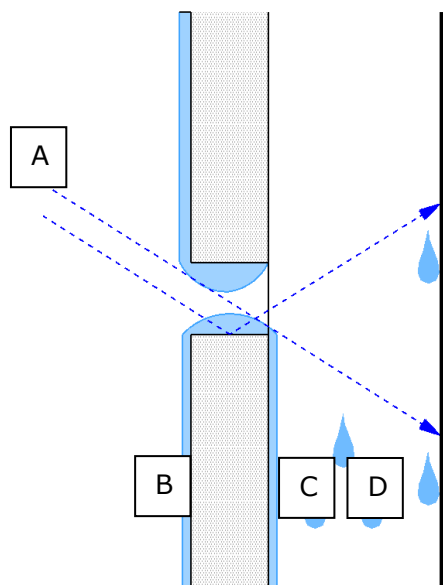
Korreksjonsfaktorene som beregnes ble benyttet for å konvertere den lokale slagregnsindeksen til slagregnsindeks for fasade. Som nevnt tidligere er fasadene delt opp i rutenett på 5 m x 5 m. Hver sone har tilhørende faste korreksjonsfaktorer. Disse faktorene korrigerer slagregnsindeksen for hver enkelt sone for alle fire fasader. Dette ble gjort for følgende tidsperioder:

- Slagregnsindeks, gjennomsnitt år.
- Slagregnsindeks, 1 år.
- Slagregnsindeks, 4 uker.
- Slagregnsindeks, 1 uke.
- Slagregnsindeks, 6 timer.
- Slagregnsindeks, 1 time.

Siden slagregnsindeksen fra disse beregningene oppgis for felt på 5 m x 5 m, er det regnet ut gjennomsnittsindeks for hver fasade for de forskjellige intervallene listet over. Korreksjon av slagregnsindeksene er gjort i Vedlegg 1.

### **Slagregnsbelastningens fordeling over kledning**

Slagregnsindeksen angir slagregnsmengden fasaden utsettes for. Slagregnsbelastningen som treffer fasaden, vil videre fordele seg over platekledningen. Av forsøkene som utføres i laboratoriet kan man kartlegge slagregnsfordeling over kledningen. Av Figur 27 ser man vannfordelingen over kledningen, slik det er definert for eksempelberegningen.



Figur 27 Vannfordeling over kledning.

- A Påført vannmengde på forsøksfelt.
- B Vann som renner over/forbi fug, vann som renner på utside kledning.
- C Vann som trenger gjennom fug, vann som renner langs bakside kledning.
- D Vann som trenger gjennom fug, vann som renner langs bakvegg.

Det ble vist av Racatala, Morales og Bossche (2018) at økningen i påført slagregn på en fasade er lineært proporsjonalt med økningen i inntrengende vann i horisontalfugen. Når man øker slagregnsbelastningen, vil inntrengingen i horisontalfugene øke tilsvarende. Dette er gjeldende for inntrengende vann på flate C. For flate D ble det ikke funnet samme lineære sammenheng, men heller en noe avtagende inntrengning ved økte vannmengder. Her ble det gjort en forenkling i beregningene og det ble antatt en lineær sammenheng for bakveggen også.

For å kartlegge vannfordelingen over kledningen for eksempelbygget, ble det bestemt å benytte resultater fra forsøkene som ble utført i laboratoriet. I laboratoriet ble 3 mm, 5 mm og 8 mm fugebredde testet for 5 forskjellige platetyper. Resultatene fra disse forsøkene vil gi grunnlag til å bestemme gjennomsnittlig vanninntrengning for de ulike fugebreddene. Ut ifra gjennomsnittlig vanninntrengning for 3 mm, 5 mm og 8 mm fugebredde, ble det beregnet hvor stor prosentandel det utgjør av total påført vannmengde. Beregningene er vist i Vedlegg 2.





# 4 Resultat og Diskusjon

## 4.1 Laboratorieforsøk

I dette kapitlet blir resultatene fra alle laboratorietestene presentert. Kapitlet er delt opp slik at prøving av fugebredder, profiler og annen utforming av fugen blir omtalt hver for seg. Til slutt er det beskrevet andre interessante observasjoner fra forsøkene og eventuelle feilkilder.

Under forsøkene ble det observert ulike fenomener på hvordan vannet beveger og oppfører seg på fasadeplatene og i fugespalten. I Tabell 15 er de mest sentrale fenomenene illustrert og forklart. Disse beskrivelsene blir brukt videre i presentasjonen av resultatene for å beskrive observasjonene gjort under spesifikke forsøk.

Tabell 15 Observerte fenomener under forsøk.

<p><b>Drypping</b></p> <p>Vann drypper fra øvre platekant til nedre platekant. Dette observeres i høye og lave frekvenser.</p>	
<p><b>Brodannelse</b></p> <p>Når dråpene er så store eller når fugen er så smal at dråpene ikke slipper øvre platekant før de berører nedre platekant. Det ble observert broer i flere størrelser: tynn, tykk, lang og kort.</p>	
<p><b>Kontinuerlig bro</b></p> <p>I noen tilfeller bredte vannbroene seg over hele fugespalten. Fra innsiden, så det ut som hele fugespalten var fylt. Ved demontering etter endt forsøk ble det observert kontinuerlige broer selv etter at vannpåføring var avsluttet. Oppstår konsekvent for smale fuger.</p>	
<p><b>Sprut</b></p> <p>Oppstår når fug er bred, og store dråper treffer nedre platekant slik at dråpen deles inn i mindre dråper og spruter utover i et plask. Dette skjer for større fugebredder.</p>	
<p><b>Vannstrøm</b></p> <p>Når vann samler seg på plateoverflate og renner i mindre bekker. Oppstår i større og mindre konsentrasjoner. Dette oppstår uavhengig av fugebredde, både på innside og utside av platekledning. Oppstår også når dråper renner konsentrert, eller når vannbroer sprekker og danner konsentrerte strømmer.</p>	
<p><b>Dråpedannelse</b></p> <p>Når mindre vannpartikler i lufta treffer en overflate, samler vannet seg til større dråper. Disse dråpene renner ned langs overflate når de får tilstrekkelig størrelse. Dette oppstår på bakvegg i de fleste tilfeller med åpen fug.</p>	
<p><b>Vannfilm</b></p> <p>I motsetning til vannstrømmer renner ikke vannet i konsentrerte strømmer, men som en tynn hinne på plateoverflaten. Dette oppstår for platekledninger med glatt overflate, og i tilfeller hvor vann trenger gjennom langs hele fugespalten. Fenomenet kan oppstå både på utside og innside plateoverflate.</p>	
<p><b>Sprut direkte fra fug</b></p> <p>I tilfeller hvor vannbro slipper taket i nedre platekant, kan vannstrømmen strømme ut fra fug og direkte på bakvegg. Fenomenet oppstår også når vannstrømmer på utsiden av plate dras inn igjennom fug å direkte inn på bakvegg.</p>	

### 4.1.1 Fugebredder

En stor del av denne oppgaven er å observere og måle hvordan forskjellige fugebredder påvirker mengden vann som trenger inn gjennom fugen og på bakside fasadeplate eller på bakveggen. Forsøk 1 til 19 tar for seg dette spørsmålet. I forsøkene 1 til 15 er fasadeplater montert på vertikale lekter, mens under forsøkene 16 til 19 er det brukt horisontale lekter og fasadeplater som er vesentlig tykkere. Dermed er sistnevnte forsøk presentert og diskutert separat fra forsøk 1 til 15.

#### **Forsøk med vertikale lekter**

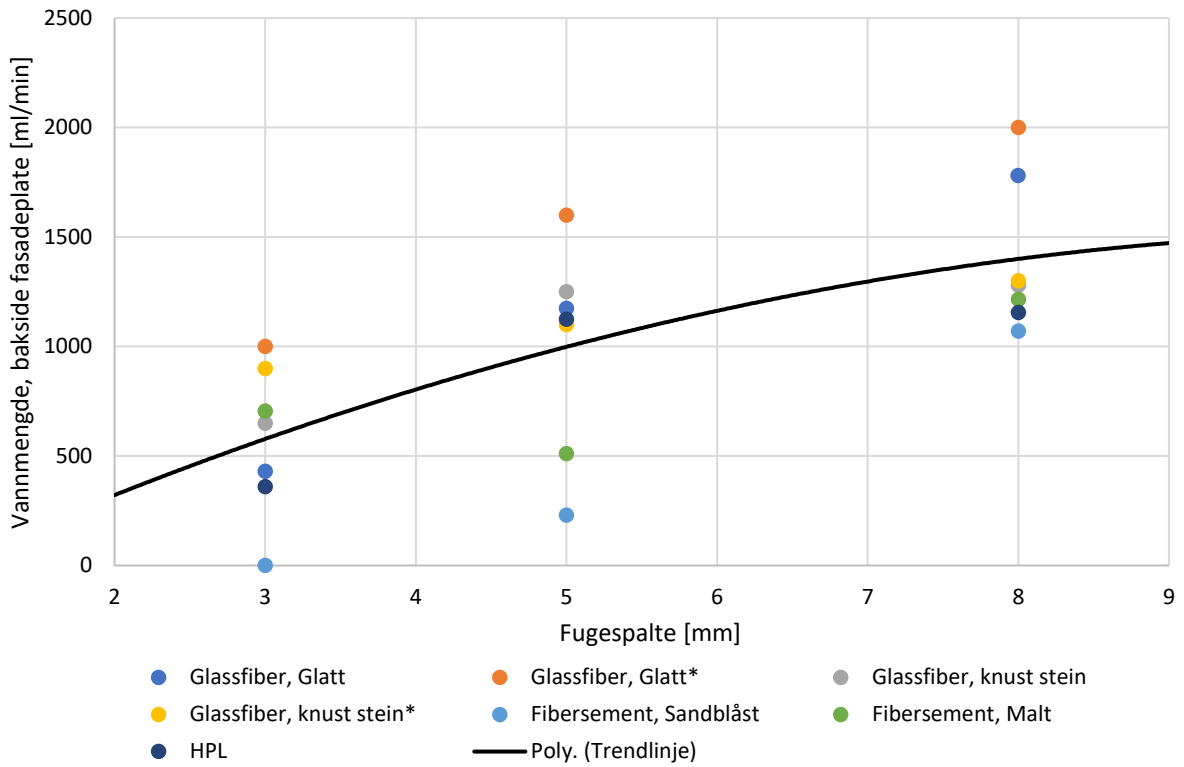
Forsøk 1 til 15 ser hovedsakelig på bredden av fugespalten og hvilken innvirkning den har på vanninntrengning. I Tabell 16 er resultatene fra alle forsøkene presentert sammen med observasjonene gjort under forsøket. Her er observasjoner fra fugen (1), bakside fasadeplate (2) og bakveggen (3) kommentert. De fem platetyperne som vi hadde til disposisjon ble testet med fugebredder på 3 mm, 5 mm og 8 mm. Forsøkene utført av SINTEF er også presentert i tabellen, og er markert med en stjerne (\*).

Resultatene fra målingene av vannmengder er også vist i Figur 28 og Figur 29. Figur 28 viser mengde vann målt på baksiden av fasadeplaten for de ulike fugebreddene. Det er også lagt inn en trendlinje som viser utviklingen med hensyn til fugebredden. Figur 29 viser mengde vann målt på bakveggen for de ulike fugebreddene. Her er også trendlinjen vist.

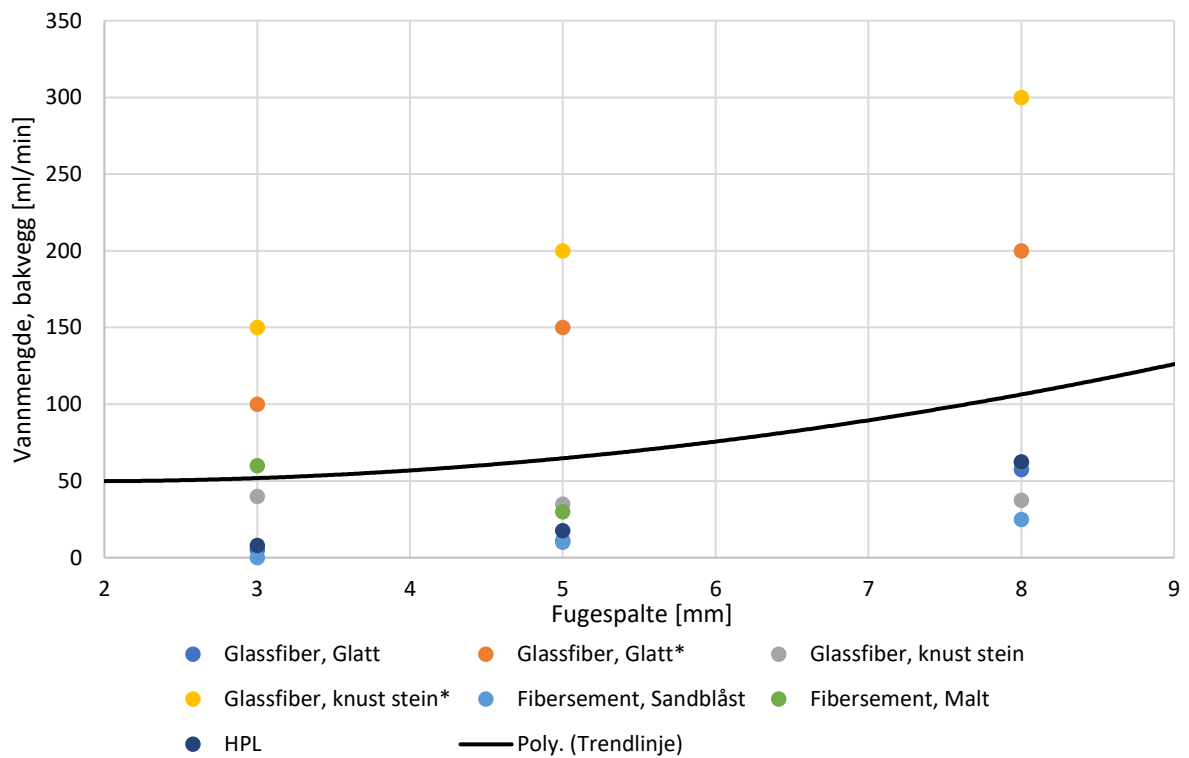
Tabell 16 Forsøksresultater med varierende fugebredder, forsøk 1 til 15.

\*Utført av SINTEF.

Fugebredde [mm]	Forsøks Nr.	Platetype [material/overflate]	Måling Bakside plate [ml/min]	Måling Bakvegg [ml/min]	Observasjoner 1. I horisontal fug 2. På bakside plate 3. På bakvegg
<b>3</b> <b>*3,2</b>	1	Glassfiber glatt	430 *1000	5 *100	1. Kontinuerlig bro i fug 2. Kontinuerlig vannfilm 3. Enkelte vannstrømmer
	2	Glassfiber knust stein	650 *900	40 *150	1. Vannbro flere steder 2. Vannstrømmer 3. Dråpedannelse
	3	Fibersement sandblåst	0	0	1. Vann renner forbi fug 2. Periodisk små vannstrømmer 3. Helt tørr
	4	Fibersement malt	705	60	1. kontinuerlig vannfilm på fremside, tidvis gjennomtrenging. 2. Tidvis vannstrømmer 3. Tidvis sprut direkte fra fug ved lekt.
	5	HPL malt	360	8	1. Kontinuerlig vannbro 2. Noen strømmer 3. Noe dråpedannelser
<b>5</b>	6	Glassfiber glatt	1174 *1600	11 *150	1. Brodannelser og drypp 2. Kontinuerlig vannfilm 3. Dråpedannelse
	7	Glassfiber knust stein	1250 *1100	35 *200	1. Brodannelse og drypp 2. Vannstrømmer 3. Dråpedannelse
	8	Fibersement sandblåst	230	10	1. Flere vannbroer 2. Vannstrømmer 3. Noe dråpedannelse
	9	Fibersement malt	511	30	1. Drypp og vannbro 2. Pulserer periodisk vannstrømmer fra fug. 3. Noe dråpedannelse
	10	HPL malt	1125	17,5	1. Vannbroer 2. Vannstrømmer 3. Noe sprut fra fug
<b>8</b> <b>*9</b>	11	Glassfiber gatt	1780 *2000	57,5 *200	1. Høyfrekvent drypping 2. Kontinuerlig vannfilm 3. Noe sprut fra fug
	12	Glassfiber knust stein	1280 *1300	37,5 *300	1. Store dråper, drypping 2. Vannstrømmer/bekker 3. Dråpedannelse
	13	Fibersement sandblåst	1070	25	1. Høyfrekvent drypping 2. Vannstrømmer 3. Noe direkte sprut fra fug, dråpedannelse.
	14	Fibersement malt	1215	62	1. Høyfrekvent drypp 2. Dråper og vannstrømm 3. Direkte sprut fra fug
	15	HPL malt	1155	62,5	1. Vannbro og drypping 2. Vannstrøm, noe film 3. Noe sprut fra fug



Figur 28 Vannmengde, bakside fasadeplate.



Figur 29 Vannmengde, bakvegg.

Figur 28 viser mengden vann målt på baksiden av fasadeplaten ved 3 mm, 5 mm og 8 mm fugebredder. Trendlinjen viser en klar stigende, men avtagende vannmengde på baksiden av fasadeplaten. Her antas det at trenden er avtagende på grunn av at mengden vann målt er såpass stor i forhold til mengden vann som kommer ut av dysene, ca. 1/4 av totalt påført vann. Figur 29 viser mengden vann målt på bakveggen ved 3 mm, 5 mm og 8 mm fugebredder. Trendlinjen her er stigende og økende. Begge figurene viser en tydelig sammenheng mellom økning i fugebredden og økning i mengde vann på baksiden av fasadeplaten og på bakveggen.

Sett under ett gir en økning i fugebredde mer inntrengende vann, men ved noen av forsøkene viser resultatene at dette ikke alltid stemmer. På både bakside plate og bakvegg var det tilfeller av at en økning i fugebredden medførte en reduksjon i inntrengende vann. Dette sier at akkurat hva som fører til at vann kommer på innsiden eller ikke er noe uklart og at det er mer sammensatt. Små endringer og tilfeldigheter kan ha en vesentlige påvirkninger på det målte resultatet. Derimot viser resultatene at en økning i fugebredden generelt gir en økning i inntrengende vann. Spesielt når man ser på vannspruten som treffer direkte igjennom fugen.

Ved 3 mm fugebredde ble det generelt målt minst vann på både bakside plate og bakveggen. Under disse forsøkene (forsøk 1-5) ble det alltid observert en kontinuerlig vannbro i fugen. Hvordan denne vannbroen oppførte seg varierte stort mellom forsøkene. I forsøk 3 ble det ikke målt vann på hverken bakside plate eller bakvegg. Her klarte vannet å tette fugespalten og overflatespenningene gjorde at alt vannet rant på utsiden av fasadeplaten. I forsøk 4 ble det målt relativt store vannmengder på både bakside plate og på bakveggen. Her klarte ikke overflatespenningene å holde tilbake vannet, og dermed rant vannet inn på innsiden av platen. Der det var mer konsentrerte strømmer dro vannet seg inn gjennom fugen og sprutet direkte på bakveggen. Dette fenomenet ble oftest observert når det var kontinuerlig bro i fugen, ved 3 og 5 mm fugespalte. Hva som gjorde at overflatespenningen klarte å hindre vannet fra å renne på innsiden eller ikke er mer uvisst.

Ved 5 mm fugebredde ble det målt en økning i vannmengder på bakside plate og bakvegg i forhold til ved 3 mm fugebredde. Her ble det observert både dråpedannelser og brodannelse i fugen. Her virket det som overflatespenningen som tidligere hindret vannet i å trenge inn gjennom fugen hadde redusert effekt. Det ble også observert noe dråpedannelse på bakveggen ved fugene. En videre økning av fugebredden til 8 mm førte til at brodannelsen i fugen opphørte og det ble kun observert dråpedannelse i fugen. Samtidig ble det også målt mer inntrengende vann ved bruk av 8 mm fugebredde. Ved denne fugebredden ble det observert at dysene i større grad sprutet vann direkte inn på bakveggen ved øverste fugespalte.

Den øvre og nedre fugen oppførte seg klart forskjellig under forsøkene. Generelt virket det som nederste fug bidro mest til vanninntrengningen. Ved 3 og 5 mm fugebredder ble det observert mest vanninntrengning i nederste fug. Vannet på utsiden av platen tenderte til å samle seg i strømmer og hadde generelt høyere hastighet når det traff den andre fugen. Dette førte til at vannet i større grad ble dratt på innsiden i den andre fugen. Den økte hastigheten på vannet gjorde at overflatespenningen ikke klarte å holde vannet på utsiden. Når fugebredden var 8 mm ble det observert en likere oppførsel mellom fugene, uten at dysene sprutet vann direkte inn i den øverste fugen.

Hva som i størst grad bidro til at vann nådde bakveggen er ikke helt klart, men det ble observert tre hovedgrunner. Ved smalere fugebredder var det tilfeller av at vann ble dratt inn igjennom fugen og sprutet helt inn på bakveggen. Generelt ved alle fugebredder ble det observert at vann ble ført inn på bakveggen via lektesystemet. Her ble det observert en viss sammenheng mellom mengden vann på baksideplate og på

lektesystemet. Ved større fugebredder ble det observert sprut enten via overkant plate eller direkte inn på bakveggen fra dysene.

Deler av forsøkene ble også gjennomført av SINTEF. Hvis man kun ser på resultatene herifra, ser man at det er en tydelig økende vanninntrengning for både bakside plate og bakvegg med økende fugebredder. Generelt er det målt større vannmengder i disse forsøkene, spesielt på bakveggen. Forskjellene mellom forsøkene er små, og det er uklart hva som har ført til de relativt store forskjellene i vannmengde. Dette kan dermed tyde på at små forskjeller i utførelse kan føre til ganske store forskjeller i resultat. Generelt viser funnene i denne oppgaven at en slik vegg på ingen måte holder regnet ute.

Resultatene i dette forsøket tilsier at 3 mm fugebredde blir for smalt med tanke på stående vann i fugen, samtidig som vanninntrengning øker ved økende fugebredder. Dermed virker det til at 5 mm fugespalte er optimalt. Dette er på linje med det som tidligere ble anbefalt av blant annet Isaksen (1964). Ved sammenligning av andelen inntrengende vann med tidligere forsøk, se kapittel 2.1.6, ligger resultatene funnet i denne oppgaven i samme område som tidligere rapporter. Trendlinjen for vannmengde på bakvegg lå mellom 0,8% og 1,8% ved de ulike fugebreddene, og for baksiden av fasadeplaten lå vannmengden på 8% til 33%. Det er kun enkelte forsøk der resultatene ligger utenfor det som tidligere er funnet.

## Forsøk med horisontale lekter

Forsøk 16 til 19 ble utført med horisontale lekter (krysslekting) og plater som er vesentlig tykkere enn de som ble testet i forsøk 1 til 15. Her ble det i tillegg sett på fugebredder fra 5 mm til 20 mm. Derfor er denne fasadetypen omtalt separat. Resultatene fra de fire forsøkene er presentert og kommentert under i Tabell 17.

Tabell 17 Forsøksresultater og observasjoner med varierende fugebredder, fasadeplater montert med horisontale lekter.

Fugebredde [mm]	Forsøks Nr.	Platetype [material/overflate]	Måling Bakside plate [ml/min]	Måling Bakvegg [ml/min]	Observasjoner 1. I horisontal fug 2. På bakside plate 3. På bakvegg
5	16	Herdet glass glatt	850	50	1. Drypping og vannbro 2. Vannstrømmer og drypp fra horisontal lekt 3. Direkte sprut fra fug. Dråpesprut fra horisontal lekt
10	17	Herdet glass glatt	735	15	1. Mye drypping 2. Vannstrømmer og drypp fra horisontal lekt 3. Dråpedannelser, noe dråpesprut fra fug. Dråpesprut fra horisontal lekt
15	18	Herdet glass glatt	453	15	1. En del drypping 2. Vannstrømmer og drypp fra horisontal lekt 3. Dusj direkte gjennom fug, dråpedannelse. Dråpesprut fra horisontal lekt.
20	19	Herdet glass glatt	100	35	1. Drypping i lav frekvens 2. Vannstrømmer og drypp fra horisontal lekt 3. Dusj direkte gjennom fug, dråpedannelse. Dråpesprut fra horisontal lekt.

Vannmengdene på bakside plate ble redusert ved økende fugebredder, fra 850 ml vann ved 5 mm fugespalte til 100 ml ved 20 mm fugespalte. Med en fugebredde på 5 mm ble det tidvis dannet vannbro i fugene, og mye vann ble ført inn i horisontalfugen og ned langs bakside plate. Ved større fugebredder rant mer av vannet forbi horisontalfugen. Platene er 30 mm tykke og det virket som bredden på platen reduserte vanninntrengningen. Ved større fugebredder på 10 mm og oppover ble tendensen til vannbro mindre, og vannet rant i større grad rett ned fra den ene platen til den andre. Av Figur 30 kan man se at drypping forekommer nærmere fremside plate, og på grunn av den tykke platebredden renner også mesteparten av vannet ut på fremsiden. En kan også se at det samler seg en vannhinne på oversiden av platen.





*Figur 30 Horisontal fug, forsøk 19.*

Ut ifra observasjonene virket det til at store deler av vannet som kom inn gjennom fugen ble drenert ut til sidene av de horisontale lektene. Det ble også observert at mye vann ble liggende oppå de horisontale lektene under forsøkene, som vist Figur 31. Det kunne tyde på at lektene hadde en konveks form. Rennesystemet var ikke tilpasset fasadeplater med horisontale lekter, og vannet som ble drenert ut til siden av lektene ble ikke fanget opp av rennesystemet. Dette antas å være grunnen til de lave vannmengdene som ble registrert på baksiden av fasadeplaten.



*Figur 31 Horisontal fug og lektesystem, forsøk 19.*

Vannmengden målt på bakveggen var størst ved 5 mm fugespalte, men fikk en økning igjen ved 20 mm fugespalte. Under testingen ble det ved alle fugebreddene observert et jevnt lag med dråper på bakveggen, som vist i Figur 31. Ved fugebredder på 15 mm og 20 mm ble det også observert at dysene sprutet direkte igjennom fugen. Generelt for alle forsøkene, og spesielt for forsøk 16, kom det mye vann på bakveggen på grunn av drypping mellom horisontallektene. Vannet som samlet seg på overkant av lekten rant over og dryppet ned på underliggende lekt, hvilket medførte at det sprutet vann på bakveggen. Ved 5 mm fugespalte rant vannet inn igjennom fugespalten og traff lekten, noe som førte til at det sprutet videre på bakveggen. Ved øverste fugespalte ble det observert at vannet fra dysene traff fugen og sprutet inn på bakveggen, som illustrert i Figur 6. På tross av observasjonene som tilsa at det kom mye vann på bakveggen ble det ikke målt spesielt store vannmengder. Her antas det at det ikke oppsto strømmer som rant inn på bakveggen via lektesystemet. Ut ifra observasjonene så det ut til at denne fasadeløsningen hadde størst grad av oppfukning av bakveggen, sammenlignet med de andre forsøkene, selv om resultatene ikke understøtter dette.

Ut ifra observasjonene er det vurdert at utformingen av de horisontale lektene er uheldig. Underveis i arbeidet på laboratoriet ble horisontallektene stående i fire døgn etter testing, da feltet ble demontert lå det fremdeles store mengder vann i lektene. Her vil det være gunstig at lektesystemet utføres med perforeringer, og helst på en slik måte at vannet ikke drypper ned på underliggende lekt, men renner ned langs innsiden av platen. Perforering av lektene vil kunne hindre at det samler seg vann på oversiden av

lekten som bidrar til at vann spruter på bakveggen. Man vil også kunne redusere dryppingen fra en lekt til neste, samt at vann ikke blir liggende i lektesystemet i lang tid etter et regnvær.




Det viste seg at en platebredde på 5 mm var minst gunstig, som er motsatt av hva resultatene i forsøk 1 til 15 tilsier. Her ble det vist at mindre fugebredder gir mindre vanninntrengning. Likevel er det noen vesentlige forskjeller mellom platene som forårsaker de ulike resultatene. Glassplaten er 30 mm bred og det ble observert vesentlig mer vann på toppen av platen i motsetning til de tynnere platene. Denne vannansamlingen gjorde at man stedvis fikk kontinuerlige strømmer fra utsiden av platen inn på innsiden av platen, og på grunn av at fugebredden var 5 mm stoppet ikke vannets overflatespenning vannet i å sprute inn på innsiden av fugespalten. Ved fugebredder på 10 mm og bredere ble det ikke dannet kontinuerlige strømmer, men vannet dannet dråper på underkant av platen. Når vannet dannet dråper istedenfor strømmer, mistet vannet mye av farten og dryppet ned på overkant av neste plate.

Ut ifra resultatene og observasjonene viser det seg at en fugebredde på 10 til 15 mm gir minst vann på bakveggen. En fugebredde på 15 mm førte til at det sprutet vann direkte inn på bakveggen. Dermed antas det at en bredde nærmere 10 mm er mer gunstig slik at man unngår direkte regninntrenging. Generelt ble det observert et jevnt lag med dråper på bakveggen ved alle fugebreddene under disse forsøkene.

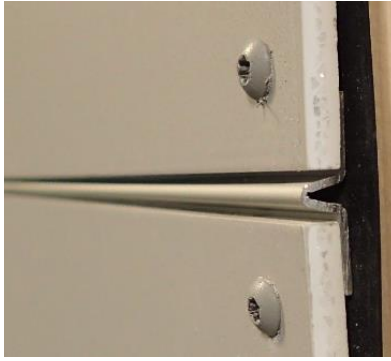
#### 4.1.2 Profiler

Tre forskjellige horisontalprofiler ble testet i disse forsøkene. Profil 2 var produsert spesifikt for glassfiberplatene som var 6 mm tykke, og passet dermed ikke til de andre platene som var tykkere. Profil 1 og 3 er formet slik at plater med tykkelse 6-10 mm passer. Glassplatene kom med egne horisontallekter og et system som ikke er laget for horisontalprofiler. Disse platene ble derfor ekskludert fra denne delen av forsøkene. Resultatene fra profiltestingen er presentert i Tabell 18. Merk at alle plater har fugebredde på 8 mm ved testing med profiler, utenom HPL-platen som ble montert med fugebredde 5 mm.

Tabell 18 Forsøksresultater med ulike profilløsninger.

Profil	Forsøks Nr.	Platetype [material/overflate]	Måling Bakside plate [l/min]	Måling Bakvegg [l/min]	Observasjoner 1. I horisontal fug 2. På bakside plate 3. På bakvegg
	20	Glassfiber glatt	2900	0	1. Profil leder inn vann 2. Konsentrerte strømmer 3. Skjermet av profil, tørt
	21	Glassfiber knust stein	1400	0	1. Profil leder inn vann 2. Strømmer 3. Skjermet av profil, tørt
	22	Fibersement sandblåst	1485	15	1. Profil leder inn vann 2. Kontinuerlig vannfilm 3. Minimalt dråpedannelse
	23	Fibersement malt	2270	55	1. Profil leder inn vann 2. Kontinuerlig vannfilm 3. Minimalt dråpedannelse
	24	HPL malt	370	10	1. Profil leder inn vann 2. Vannstrømmer fra profil 3. Skjermet av profil, tørt
	25	Glassfiber glatt	0	0	1. Profil virker helt tett 2. Skjermet av profil, tørt 3. Skjermet av profil, tørt
	26	Glassfiber knust stein	0	0	1. Profil virker helt tett 2. Skjermet av profil, tørt 3. Skjermet av profil, tørt
	27	Fibersement sandblåst	890	5	1. Profil leder inn vann 2. Vannfilm noen steder 3. Veldig lite dråpedannelse
	28	Fibersement malt	1310	30	1. Profil leder inn vann 2. Vannstrømmer fra profil 3. Minimal dråpedannelse
	29	HPL malt	100	30	1. Kontinuerlig film over profil 2. Mindre vannstrømmer 3. Skjermet av profil, tørt

Horisontalprofiler har som hovedfunksjon å hindre vann i å trenge inn i fugen, men vil også gi fasaden et endret arkitektonisk preg. Av profilene som ble testet var både profil 1 og 3 lite synlige, og bevarte illusjonen av åpne fuger i fasaden. Profil 3 vises derimot tydelig. Profilene montert i fasadene kan sees i Figur 32, Figur 33 og Figur 34.



Figur 32 Profil 1.



Figur 33 Profil 2.



Figur 34 Profil 3.

Av resultatene ser man tydelige forskjeller på profilenes prestasjoner. Profil 2 fungerte slik den var tiltenkt. Ved å ha en dryppnese som går hele veien over platetoppen og ned på utsiden, ble alt vann ledet forbi fugen. Dette profilet ble også testet med trykk opptil 600 Pa, uten at det ble observert inntrengende vann. Under forsøk 25 og 26 ble det ikke observert en eneste dråpe vann på bakvegg eller bakside plate. Selv om dette virker som en byggtknisk god løsning, vil det endre på fasadens uttrykk. Sammenlignet med åpen fug i samme dimensjon ga profil 2 en reduksjon på 100% i inntrengende vann.

Profil 1 og 3 skjermer bakveggen for direkte sprut igjennom fug. Dermed hindrer profilene vannråper å treffe bakveggen direkte igjennom fugen. Profilene har kun anlegg mot vertikallektene. Dermed blir de liggende slapt mot baksiden av platen, og presses ikke tilstrekkelig mot platen. Dette er illustrert i Figur 35 og Figur 36. I Figur 35 ser man et tenkt vertikalsnitt hvor profil klemmes mellom lekt og plate. I Figur 36 ser man hvordan profilet ligger i lysåpningen mellom vertikallektene. I disse områdene blir ikke profilet presset tilstrekkelig mot platen, og det gir nedsildrende vann mulighet for å renne på innsiden. Det illustrerte prinsippet gjelder både profil 1 og profil 3.



Figur 35 Vertikalsnitt i lekt.



Figur 36 Vertikalsnitt i lysåpning.

Profil 1 og 3 har en utforming som er noe uheldig for fasadens vanninntrengningsmotstand. Dryppnesen til profil 3 har ikke tilstrekkelig lengde, og man kan se av Figur 34 at den flukter med utsiden av platen. Dette fører til at vannet ikke ledes vekk fra fug. Profil 1 har en utforming som strider imot prinsippet om dryppnese som ofte benyttes ved bruk av beslag og profiler. Profilet har en avrundet utstikker, og utformingen leder vannet langs profilet og inn på bakside plate. Grunnet den uheldige utformingen til profil 1 og 3, leder profilene store mengder vann inn bak kledningen. Av

Figur 37 kan man se at profilene leder inn vann på bakside plate, i form av en tykk vannfilm. Av Figur 38 kan man se at profilene leder inn vann på baksiden av platen, og man kan observere tykke vannstrømmer. Det ble observert en kombinasjon av vannfilm og kraftige vannstrømmer på baksiden av platen ved bruk av profil 1 og 3. Sammenlignet med åpne fuger i samme dimensjon ga profil 1 opptil 60% økning i inntrengende vann på bakside fasadeplate, mens profil 3 ga en økning opptil 8%. Begge profilene ga også reduksjon i inntrengende vann på bakside plate under noen forsøk, særlig HPL-platene. Dette kan komme av at disse platene ble montert med 5 mm fug.



*Figur 37 Profil 1, forsøk 22.*



*Figur 38 Profil 3, forsøk 28.*

I tidligere forsøk med åpen fug er det observert at vannstrømmer får en horisontal retningsvektor når de dras inn i fugen. Profil 1 og 3 eliminerer dette, og vannet treffer derfor aldri bakveggen direkte. Målingene tyder likevel på at noe vann kommer inn til bakveggen. Av observasjoner kan man bekrefte at det ikke renner vann på bakveggen, men man kan se små vannstrømmer som føres langs lektene, illustrert i Figur 39. Disse vannstrømmene ender i rennesystemet som samler opp vann fra bakvegg.





*Figur 39 Vannstrøm langs lekt.*



Målingene er gjennomgående store for baksiden av platene ved bruk av profil 1 og 3. De forsøkene som utmerker seg, er forsøk 24 og 29. I disse forsøkene ble det benyttet en fugebredde på 5 mm. Under disse testene ble det dannet en vannfilm på utsiden av platen som la seg over fugen. Det virket som vannet i mindre grad ble ført inn av profilene, og heller rant kontinuerlig forbi. Ved bruk av horisontalprofil i 5 mm fuger ble det observert at vann kunne bli liggende i fugen etter at forsøkene var avsluttet. Derimot, ved 8 mm fugebredde ble mindre vann liggende i fugen.

Kort oppsummert fungerer profil 2 som tiltenkt, og skjermer horisontalfugene for nedbør. Profilene vil dog påvirke utseende til fasaden. Alle profilene skjermet bakvegg på en god måte. Profil 1 og 3 ledet store mengder vann inn på bakside plate grunnet uheldig utforming, men med små endringer på profilene er det antatt at funksjonen forbedres. Eksempelvis ville en lengre dryppnese gitt bedre skjerming.

#### 4.1.3 Overheng og skråskjæring

Det ble testet fire forskjellige fugeutforminger, to forskjellige overheng og to forskjellige skråskjæringer. Da det ble besluttet å teste forskjellige geometrier i horisontalfugene, var hensikten å finne løsninger som enkelt kan implementeres i produksjon. For at de utprøvde løsningene skal ha verdi, er det viktig at de er kostnadseffektive og praktiske. Resultatene fra forsøkene med forskjellig fugeutforming er presentert i Tabell 19.

Tabell 19 Forsøksresultater med overheng eller skrånkjæring.

Variant	Forsøks Nr.	Platetype [material/ overflate]	Måling Bakside plate [l/min]	Måling Bakvegg [l/min]	Observasjoner <b>1. I horisontal fug</b> <b>2. På bakside plate</b> <b>3. På bakvegg</b>
<b>Overheng</b>  <b>1/2 platetykkel se</b>  <b>8 mm fug</b>	30	Fibersement sandblåst	709	7	1. Drypping i høy frekvens tidvis vannbro. 2. Vannstrømmer 3. Noe direkte sprut fra fug, dråpedannelse.
	31	Fibersement malt	635	50	1. Drypping i lav frekvens, noe brodannelse 2. vannstrømmer 3. Noe periodisk sprut fra drypp i fug.
<b>Overheng</b>  <b>1/1 Platetykkel se</b>  <b>8 mm fug</b>	32	Fibersement sandblåst	330	10	1. Mindre mengder drypping 2. Vannstrømmer 3. Mindre dusj og dråpedannelse
	33	Fibersement malt	170	27	1. Drypping 2. Noen vannstrømmer 3. Mindre vannstrømmer
<b>Skrånkjært Øvre kant</b>   <b>5 mm fug</b>	34	HPL malt	495	5	1. Vannbro, kontinuerlig vannfilm på 2+mm 2. Vannstrømmer 3. Dråpedannelse
<b>Skrånkjært Begge kanter</b>   <b>5 mm fug</b>	35	HPL malt	0	0	1. Drypping, noe vannbro 2. Noen enkeltdråper 3. Noe dråpedannelse

Ved 1/2 plateoverheng ble det observert at noe av vannet som rant på utsiden av platen rant forbi fugen uten å bli dratt inn. Noe vann ble dratt inn i fugen, og dryppet ned på underliggende platekant. Det ble dannet en vannfilm på underliggende platekant som tidvis sprakk slik at det kom vannstrømmer både på innsiden og utsiden av platen. Tidvis ble vannet dratt inn i så stor hastighet at det sprutet helt inn på bakvegg. Dette forekom tidvis i pulserende strømmer. Fra ingen overheng til overheng på 1/2 plate ble vanninntrengningen opptil halvert.

Ved 1/1 plateoverheng var det merkbart mer vann som rant forbi horisontal fug. Noe vann ble likevel dratt inn i fugen, som ved 1/2 plateoverheng. Det ble ikke observert vann som sprutet direkte på bakvegg fra fug. Den observerte reduksjonen kommer av at vannet som renner fra øvre plate i større grad renner eller drypper videre ned på utside



fasade, hvor det vanligvis ville ha truffet underliggende platetopp. Fra ingen overheng til 1/1 plateoverheng ble vanninntrengningen på bakside plate redusert med opptil 80%.

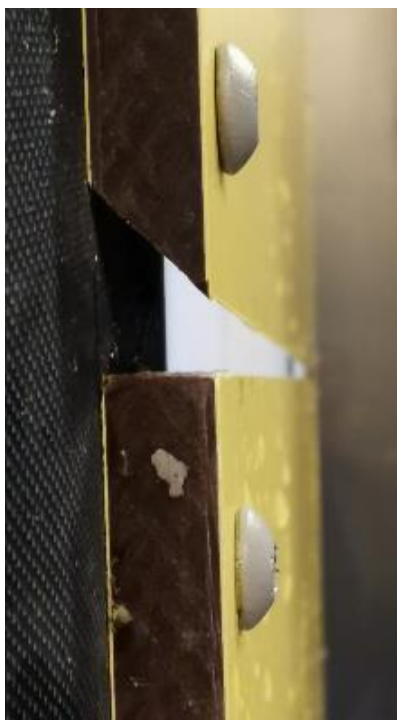
Av Figur 40 kan man se fugens utforming med halvt plateoverheng. Her ser man tydelig at vannet i større grad vil renne videre på utsiden. Forsøket ble utført ved å legge inn skiver på overliggende plate bak den nederste rekken med skruer. Utførelsen er tungvinn og krever mer presisjon og utstyr enn normal innfesting. For å implementere fugens utforming i bransjen kreves det enklere monteringsmetoder. Eksempelvis kan en løsning være å produsere platene som et trapes, hvor nedre del av plate er 50% tykkere enn øvre del. Da vil monteringen ikke kompliseres, og man får overheng mellom platen.



*Figur 40 1/2 plate overheng, forsøk 30.*

Siden HPL-platene var det eneste trebaserte materialet som ble testet, ble det besluttet å gjøre skråskjæringsforsøk på kun disse platene. Trematerialer er enklere å behandle, og faren for knusing, knekking, eller oppsprekking er betydelig lavere enn for de andre materialene. Her er det antatt at resultatene også er relevante for lignende plater i glassfiber og fibersement.

Av Figur 41 og Figur 42 kan man se geometrien til fugene i forsøk 34 og 35. Denne løsningen vil i utgangspunktet ikke være krevende å implementere i bygg- og anleggsbransjen. Løsningen krever at platen skråskjæres i topp- og bunnkant. Løsningen vil i liten grad påvirke fasadens arkitektoniske uttrykk. Fra utsiden ser man ikke at platene er skråskjært, som man kan se av Figur 44.

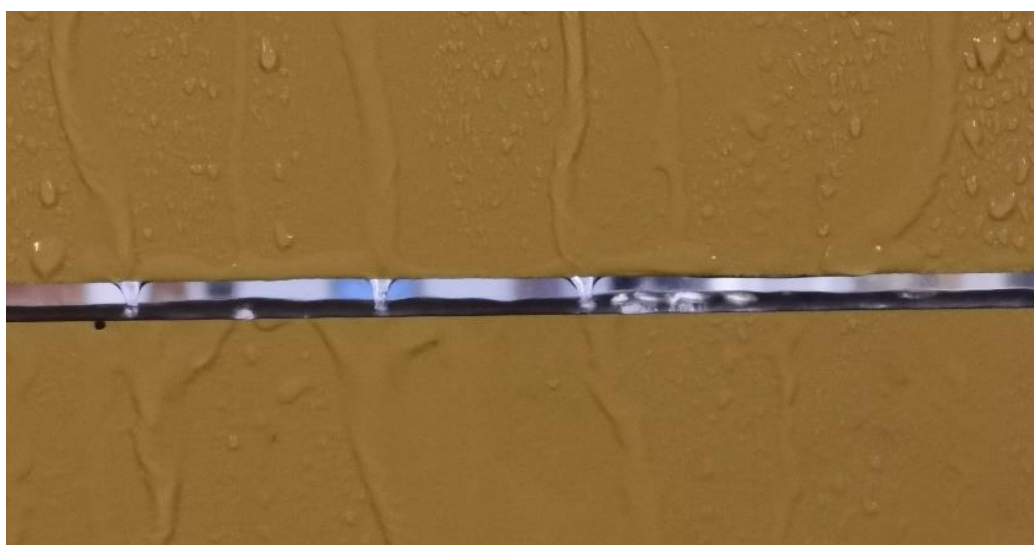


Figur 41 skråskjært øvre platekant, forsøk 34



Figur 42 Skråskjært begge platekanter, forsøk 35

Under forsøk 34 (skråskjært øvre kant) ble det observert at vann som rant på utsiden ble dratt inn i horisontal fug. Da øvre plate var skråskjært ble ikke vannet dratt langt nok inn i fug til å komme inn bak kledningen. Vannet dryppet i stedet ned på nedre platekant, og det ble dannet en betydelig tykk vannfilm på nedre platekant se Figur 43. Denne filmen brøt periodisk ut på begge sider av platen, slik at noe vann rant inn på bakside plate. Ved å skråskjære øvre platekant ble inntrengende vannmengde halvert, sammenlignet med rektangulær fug i samme dimensjon. Det ble ikke observert noe direkte sprut på bakvegg, men noe dråpedannelse ble observert.



Figur 43 Horisontal fug, forsøk 34.

Ved å skråskjære begge platekanter (se forsøk 35) uteble vannfilmen på nedre platekant da underkant førte vannstrøm ned på utsiden av platekledningen. Ved å skråskjære begge platekanter viste det seg at platekledningen enkelt fører nedsildrende vann på utsiden, og at det trengs større krefter for å motvirke tyngdekraften og presse vannstrøm opp langs en skråskjært fug.



*Figur 44 Fasade, forsøk 35.*

#### 4.1.4 Andre observasjoner fra forsøkene

##### **Vannansamling**

Ved 3 mm fugespalte ble det observert at vann ble liggende mellom platene etter at forsøket var gjennomført. Dette er noe som vil øke faren for fuktskader i fasaden, eller i beste fall kunne føre til misfarging av fasadeplatene. Selv lang tid etter testing ble det observert vann i fugen. Figur 45 viser at det ligger vann i fugen samtidig som resten av platen delvis har tørket opp.



*Figur 45 Vannansamling i fugespalte på 3 mm, HPL.*

### **Gummifugebånd**

Underveis i testingen ble gummifugebåndet byttet ut slik at gummifugebåndet og fasadeplaten var fra samme leverandør. Gummifugebåndene er presentert tidligere i Tabell 11.

Under testene ble det observert at gummifugebåndet som er utformet med tre utstikkende tapper ledet vann. Vannet som la seg i fugen ved lekten ble ledet ned på innsiden av kledningen og langs de utstikkende tappene i gummifugebåndet. Her tydet det på at de utstikkende tappene på gummifugebåndet bidro til å bryte overflatespenningen til vannet, noe som medførte at vannet ble ledet inn og ned langs lekten. Gummifugebåndet var like bredt som lekten den var festet til. Dette førte til at vannet stedvis ble ført forbi gummifugebåndet og inn på lekten. Denne vannstrømmen gjorde at det ble observert oppfukning av lekten, og at det dannet seg vannstrømmer som rant ned langs overgangen mellom lekt og bakvegg. Dette gjorde at det til tider ble målt store mengder vann på bakvegg, selv om bakveggen så relativt tørr ut.

Det andre gummifugebåndet som ble testet var helt plant og var noe bredere enn lekten. Her ble det ikke gjort noen merkbare observasjoner som kunne tyde på at dette gummifugebåndet dro med seg vann inn gjennom fugen. Ut ifra observasjonene gjort under testingen, virker det til at et bredere og plant gummifugebånd er gunstigst. Det er ikke sett på hvor godt de to produktene beskytter lektene over tid, og det kan tenkes at tappene på gummifugebåndet kan ha en utluftingseffekt.

### **Lekter og vannføring**

Det ble brukt 30 mm x 48 mm lekter under hele forsøket, unntatt ved testing av platene av herdet glass. Under forsøkene ble det observert ulik grad av vannføring og oppfukning av lektene. Den midterste lekten i det ene testfeltet hadde som regel en vesentlig større vannføring langs enn lekten i det andre feltet, uten at det kunne observeres en vesentlig forskjell mellom lektene. Hva som førte til denne forskjellen, var vanskelig å bedømme kun ved visuell observasjon. Dette tilsier at små forskjeller i materialet og montering kan føre til relativt store forskjeller i vannføring langs lektene. Det ble også observert at

lektene på ingen måte var vanntette mot inntrengende vann fra utsiden av testfeltene, når lekten kun var klemt imot Leksanplaten. Dette medførte at kantene av lektene på utsiden av testfeltet måtte teipes, for å hindre at vann kom inn fra utsiden av testfeltet.

## **Platetykkelse**

Det ble testet fasadeplater med tykkelse på 6 mm, 8 mm og 30 mm. Platene av herdet glass hadde en tykkelse på 30 mm og ble montert på horisontale lekter. Denne forskjellen gjør det vanskelig å sammenligne denne platen på 30 mm med de andre platene på 6 mm og 8 mm. Det ble ikke observert noen forskjeller i vanninntrengning mellom platene med 6 mm og 8 mm tykkelse. Derimot så det ut til at platene på 30 mm oppførte seg noe annerledes. Selve utformingen av platen gjorde at det var et spor i platen mellom glasset og bakplaten som glasset var limt til. Dette sporet kan delvis fungere som en dremskanal og føre vannet ut mot kanten av platen. Under forsøkene ble det observert at mye vann rant langs kanten av platene og utenom rennesystemet. Hvilken effekt bredden faktisk hadde på inntrengende vann er ukjent. Derimot så det ut til at vann fra dysene hadde en tendens til å treffe vann som hadde samlet seg på oversiden av platen på 30 mm, og sprutet opp på bakveggen.

## **Overflatestruktur**

Platene som er testet har en stor variasjon i overflatestruktur. Glassfiberplaten med knust stein er den mest røe av platene, mens herdet glass er den glatteste fasadeplaten. Det er kun platen med knust stein hvor man tydelig kan observere at vannet har en lavere hastighet nedover platen. Det er nærliggende å sammenligne de to glassfiberplatene med hverandre, da de ble testet samtidig. Resultatene gir at mengden vann på bakveggen er høyere med overflate av knust stein, samtidig som mengden vann på baksiden av platen er lavere. Ut ifra observasjonene er det antatt at platens røe overflate på utsiden er med på å bryte vannets overflatespenning. Dermed vil vannet i større grad renne på utsiden av platen. I tillegg vil en lavere hastighet på vannstrømmen føre til en mer loddrett vannbevegelse i fugen. Dette er momenter som kan forklare en lavere måling på innsiden av platen, men ikke en høyere måling på bakveggen.

Fibersementplatene som ble testet hadde også ulik overflatestruktur. Den ene platen var ubehandlet med en sandblåst overflate, hvor den andre var påført akrylmaling og hadde en glatt overflate. I disse forsøkene kan man anse den sandblåste platen som semi-ru, da den har tydelig tekstur på overflaten, men ikke i like stor grad som platen med en overflate av knust stein. I forsøkene av fibersementplatene presterte den sandblåste platen gjennomgående bedre enn den glatte platen. For den sandblåste platen ble det observert at vannet i stor grad rant forbi fugene uten å trenge inn. Man kunne se at hinnen som ble dannet i fugen ikke sprakk i like stor grad som ved de andre forsøkene. Man kan anta at strukturen i plateoverflaten gir vannet et godt grep, slik at det ikke dras inn i fugen i like stor grad. Særlig for 3 mm og 5 mm var dette tydelig. Siden vannstrømmene ikke ble dratt inn, vil de største vannstrømmene fortsette på utsiden.

#### 4.1.5 Feilkilder

Under forsøket ble det avdekt flere feilkilder. I noen tilfeller stemte ikke målingene med observasjonene som ble gjort, og noen observasjoner avdekket feil og mangler som ble utbedret fortløpende. De mest relevante feilkildene er oppsummert i dette kapittelet.

##### **Rennesystem**

Rennesystemet ble konstruert slik at vannet som renner på bakveggen eller på bakside fasadeplate ble samlet opp. Det var flere ulike faktorer som påvirket mengden vann som ble fanget opp av rennesystemet. Det er en mulighet for at noe av vannet rant inn fra sidefeltene eller ned langs slangene i rennesystemet. For å minimere denne påvirkningen ble det brukt teip for å tette langs kanten av testfeltet og ved overgangen mellom rennene og slangene. I tillegg ble det benyttet mansjett på slangen som målte vann på bakvegg. Det ble målt små mengder vann på bakveggen i forhold til mengde vann som ble spylt på testobjektet. Dette gjorde at målingene på bakveggen var mer sensitive for lekkasjer i rennesystemet. Denne feilkilden var i fokus under testingen og det ble gjort utbedringer for å minimere denne feilkilden.

##### **Målemetode**

Ved måling av oppsamlede vannmengder ble det brukt et reagensglass som måler opp til 500 ml. Ved bruk av dette reagensglasset ble avlesninger under 25 ml litt mindre nøyaktig. Dette ble ikke sett på som et problem, da målinger av så små vannmengder lett kan bli påvirket av andre feilkilder.

##### **Oppfukning av platene**

Ved hver test ble målingene gjort etter ca. 10 min regnpåkjønning. Det var ikke aktuelt å la fasadeplatene tørke mellom hver test, da det ville tatt for lang tid. Dette medførte at plater som ble testet flere ganger etter hverandre ble oppfuktet over lenger tid. Det ble observert at fibersementplatene trakk til seg mer og mer vann etter hver test. Det ble også observert mindre konsentrerte strømmer på fremsiden av platen etter flere testinger.

##### **Kantforsegling**

Plate 2 fra Tabell 9 er en gjennomfarget fibersementplate. Overflaten er påført akrylmaling, og porene i materialet er tett. Når platen kappes, vil den kappede enden være eksponert og ikke ha de samme egenskapene som den behandlede overflaten. Leverandøren krever derfor at alle kappede ender skal påføres en kantforsegling. Da kantforseglingen ikke ble levert, ble det ikke benyttet under forsøkene. Dette økte oppfuktingen av platen, men det antas at denne mangelen ikke ville utgjort en markant endring i resultatene.

##### **Avvik fra monteringsanvisning**

Ved montering av fasadeplatene ble monteringsanvisninger benyttet. Under noen forsøk ble disse anvisningene ikke fulgt, fordi anvisningene ikke var forenlig med det som skulle testes, eller av andre praktiske hensyn. Fibersementplatene krever et annet skrumønster

enn de andre platene, fordi platene er porøse og lettere sprekker opp. Disse anbefalingene ble ikke fulgt, da samme mal ble benyttet for alle platene. Ingen plater tok skade av dette under forsøkene. HPL-platene ble ikke levert med tilhørende festemidler. Det ble derfor benyttet andre skruer enn hva som er beskrevet i monteringsanvisningen. Glassplatene som ble testet krever fugebredder innenfor 5-12 mm. Det ble gjennomført forsøk med fugebredder opptil 20 mm, noe som lå utenfor anvisningene.

### **Fugebredder**

Ved montering av fasadeplatene ble det brukt et digitalt skyvelære og avstandsklosser for å oppnå riktig fugebredde. Under alle forsøkene ble de samme lektene benyttet, noe som etter hvert gjorde at gamle skruehull dro skruene ved montering av platene. En feilmargin på  $\pm 0,2$  mm ble godtatt under montering.



## 4.2 Slagregnsberegninger

### 4.2.1 Årlig slagregnsindeks

Værdata på timesbasis fra de siste 8 til 9 årene ble brukt til å beregne en slagregnsindeks for Oslo, Bergen og Trondheim. Slagregnsindeksen ble beregnet etter NS-EN ISO 15927-3:2009. Først ble det sett på et normalår, og deretter ble det sett på kortere enkeltintervaller fra datasettet. Det er hentet ut værdata på vind, nedbør og temperatur ved de tre lokasjonene.

#### Værdata

Ved bruk av timesdata fra de tre lokasjonene ble det beregnet gjennomsnittsverdier for vindhastighet, nedbør og temperatur. Tabell 20 viser gjennomsnittsverdiene beregnet ut ifra timesverdiene. For å kunne vurdere innvirkningen reparasjonen av timesdataen hadde på den beregnede nedbøren ble det også hentet ut nedbørsdata på månedsbasis. Tabell 21 viser gjennomsnittsverdier beregnet ut ifra månedsverdier, som antas å ha en mindre usikkerhet ved seg. Det er også vist avviket fra gjeldende nedbørsnormal 1961-1990. Avviket er også vist for temperaturen.

Tabell 20 Årlig gjennomsnitt for Oslo, Bergen og Trondheim, ved bruk av værdata på timesbasis.

BY	Vind [m/s]	Nedbør [mm]	Temperatur [C°]
Oslo	2,70	881	7,35
Bergen	3,46	2613	8,68
Trondheim	2,55	883	6,10

Tabell 21 Årlig gjennomsnitt for Oslo, Bergen og Trondheim, ved bruk av værdata på månedsbasis.

By	Vind [m/s]	Nedbør [mm]	Avvik fra nedbørsnormal	Temperatur [C°]	Avvik fra temperaturnormal [C°]
Oslo	2,70	891	117,3%	7,31	1,62
Bergen	3,46	2622	116,4%	8,66	1,08
Trondheim	2,57	884	108,2%	6,14	1,38

Årlig nedbørsdata ble hentet inn både via summering av timesdata og summering av månedsdata. Månedsdataen hentet fra eKlima hadde ikke noen mangler ved seg, mens timesdataen hadde noen mangler i datasettet, som forklart i 3.2.1 Behandling av innhentet værdata. Ved reparasjon av dataen ble det benyttet lineær interpolasjon med en konservativ utførelse. Dette medførte at nedbøren basert på timesbasis er noe lavere enn nedbøren på månedsbasis. Derfor ble det hentet inn nedbørsdata på månedsbasis for å sammenligne nedbørsmengdene i det gitte tidsrommet. Ved sammenligning av de to tabellene, Tabell 20 og Tabell 21, ser man et lite avvik i nedbørsmengden for Trondheim og Bergen. For Oslo er nedbøren drøye 1% høyere ved bruk av månedsdata. Det antas at manglende timesdata for Oslo kan ha en større innvirkning på totalen på grunn av kortere, men kraftigere nedbørsperioder. Det er heller ikke usannsynlig at nettopp slike værhendelser er med på å sette værstasjonen ut av spill, eller gi feil i dataen. En feil på drøye 1% anses ikke å ha stor praktisk betydning for slagregnsmengdene beregnet for Oslo.

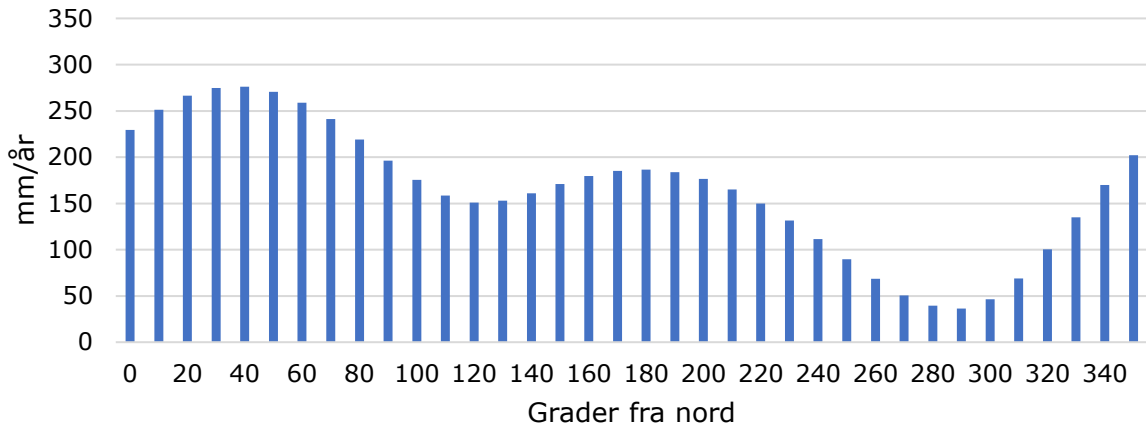


Økningen i nedbør og temperatur i forhold til dataperioden 1961-90 ble også vist i Tabell 21. For nedbør ser man at en økning på 8-17% sammenlignet med nedbørsnormalen, mens for temperaturen ser man en økning på 1,08-1,68 grader. Det ble ikke sett på endringen i vindhastighet da det ikke enkelt kunne hentes ut fra eKlima. Oslo og Bergen har hatt den største økningen i nedbør, mens Trondheim har hatt en mer moderat økning. Økningen i temperatur vil generelt medføre at mer av nedbøren faller som regn. Spesielt vil økningen i nedbør bidra til økte slagregnsmengder. Dette er noe som må tas med i betraktning når slagregnsindeksen beregnet i denne oppgaven sammenlignes med andre beregningsmetoder og resultater.

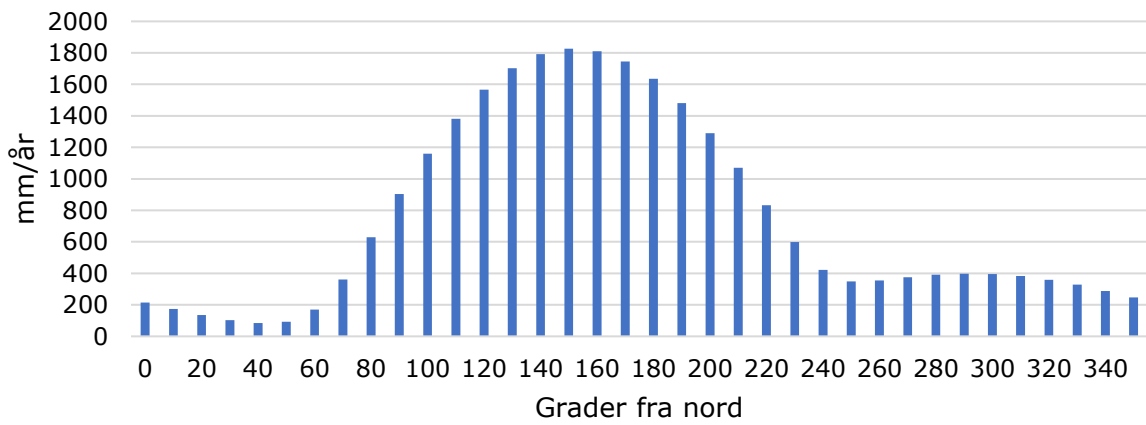
Både økningen i nedbør og temperatur må ses i sammenheng med klimaendringer. Generelt har nedbøren i Norge økt med rundt 20% siden 1900, og det forventes en økning fremover mot 2100 på 10-20% (Meteorologisk institutt, 2017). Temperaturen i Norge har også økt rundt én grad siden 1900 (Meteorologisk institutt, 2017). Økningen i forhold til værnnormalen 1961-90 viser seg dermed å passe med dette. Fra dette kan man dermed konkludere med at nedbøren og temperaturen fra de siste 8-9 årene analysert i denne oppgaven ikke representerer et spesielt vått og varmt tiår, men er heller en del av den generelle endringen av klimaet. Ved dimensjonering av fasader bør det dermed tas med i betraktning at nedbørsmengden vil øke fremover og sammen med temperaturøkningen vil også råtefare øke. Dette vil medføre at løsninger som tidligere har vært robuste vil være mer utsatt for fukt- og råteskader.

### **Slagregnsindeks for Oslo, Bergen og Trondheim**

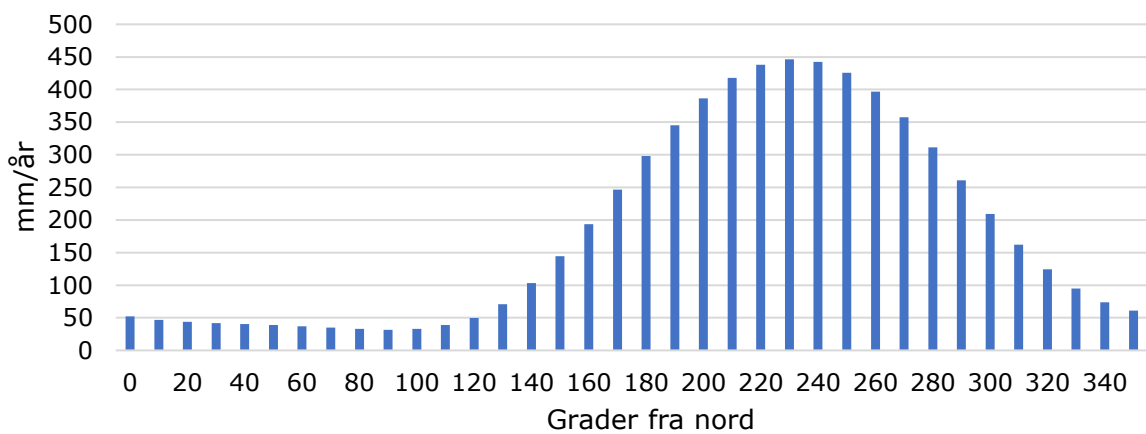
Slagregnsindeksen for Oslo, Bergen og Trondheim er vist i henholdsvis Figur 46, Figur 47 og Figur 48. Langs X-aksen vises retningen i grader fra nord, med 10 graders intervall og med nord lik 0 grader. Langs Y-aksen vises slagregnsmengden i mm/år, merk at skalaen er forskjellig fra figur til figur. Søylene viser hvor mye slagregn i mm/år en fasade med veggnormal mot retningen gitt langs x-aksen blir utsatt for. I Oslo er maksimumsverdien 276,3 mm/år fra 40 grader (nordøst), i Bergen er maksimumsverdien 1826,7 mm/år fra 150 grader (sør-sørøst) og i Trondheim er maksimumsverdien 446,5 mm/år fra 230 grader (vest-sørvest).



Figur 46 Slagregnsindeks for Blindern, Oslo. Basert på værdata på timesbasis i perioden 2011-2020.



Figur 47 Slagregnsindeks for Florida, Bergen. Basert på værdata på timesbasis i perioden 2012-2020.



Figur 48 Slagregnsindeks for Voll, Trondheim. Basert på værdata på timesbasis i perioden 2011-2020 utenom 2017.

Årlig slagregnsindeks er vist for Oslo, Bergen og Trondheim. For Oslo ser man to tydelige hovedretninger hvor slagregnet kommer fra, nordøst og sør, der mengdene fra nordøst er noe større. Samtidig ser man betydelig mindre slagregnsmengder fra vest. Bergen har en klar hovedretning fra sør-sørøst, med en tendens til en sekundærretning fra nordvest. Hvis man ser på topografien rundt værstasjonen Florida så korrelerer disse retningene godt med retningen på dalen sentrum av Bergen ligger i, noe som tilsier at topografien i området har en innvirkning på vindretningen. Ser man på vindretninger fra værstasjonen på Flesland, ser man at ved sønnavind er retningen dreid mer vest i forhold til Florida. Dette kommer av at Flesland ligger mer åpent. Mengdene slagregn Bergen opplever er flere ganger høyere enn både Oslo og Trondheim, noe som man må ta hensyn til ved valg av fasadeløsninger i Bergen. Trondheim har en klar hovedretning fra sørvest uten noen tendens til sekundærretning. Selv om det regner nesten like mye i Oslo som i Trondheim, opplever den mest utsatte retningen 60% mer slagregn i Trondheim.

Metoden brukt i denne oppgaven baserte seg på timesverdier der man kunne koble nedbør med vindhastighet og -retning for samme time. Dette er en nyere metode for å beregne slagregnsmengder, på grunn av økt tilgangen på timesdata. Det er kun de siste årene at det har kommet automatiske værstasjoner som samler inn denne type data for hver time av døgnet. I NS-EN ISO 15927-3:2009 sies det at vindhastigheten under nedbør vil variere fra vindhastigheten under opphold, men med bruk av timesdata har det vist seg at denne feilen er liten. Samtidig sies det at bruk av gjennomsnittsverdier på døgnbasis ikke bør brukes til beregning av slagregnsindeks, da det vil medføre for store feil i beregningen. Fra tidligere er det utført slagregnsberegninger for de tre byene undersøkt i denne oppgaven, av Rydock et al. (2005). Artikkelen så også på slagregnsindeksen for Tromsø, men byen ble valgt bort i denne oppgaven. Dette var fordi kategorisering av snø basert på temperatur er sett på som en stor feilkilde når snømengdene i et område blir store i forhold til nedbøren. Denne rapporten tok for seg data fra 30-års perioden 1974-2003, og baserte seg på værmålinger gjort tre til fire ganger daglig. Her ble alle former for nedbør i kombinasjon med vind fordelt mellom de trettiseks 10 graders intervallene på bakgrunn av vindretning. Slik kunne man se den relative frekvensfordelingen av vind i kombinasjon med nedbør fra de forskjellige retningene. Deretter ble det vist at fordelingen av alle typer nedbør var ganske lik fordelingen av kraftig nedbør. På bakgrunn av dette ble årlig nedbør for de ulike stedene multiplisert med frekvensfordelingen av vind og regn, slik at man fikk slagregnsmengder innenfor de ulike retningsintervallene. Til slutt ble disse brukt til å lage en slagregnsindeks for en fasade med fasadenormal 0-360 grader, som tilsvarer slagregnsindeksen vist i Figur 46, Figur 47 og Figur 48.

Ved sammenligning av beregningsmetoden brukt i denne oppgaven mot den brukt i Rydock et al. (2005), ser man klare ulikheter. Noe av styrken til rapporten er tidsrommet værdataen er hentet fra. I motsetning til de 8-9 årene sett på i denne oppgaven, ble det sett på en periode på 30 år. Dette er noe som vil føre til at resultatene vil bli mindre påvirket av ekstremår, og dermed redusere feilkildene knyttet til dette. Fremgangsmåten i artikkelen baserer seg på en mer indirekte beregning av slagregnet, der antallet tilfeller av vind med regn blir fordelt etter vindretning for så å ganges opp med årlig nedbørsmengde. Ved bruk av timesdata får man direkte knyttet regnmengder, vindhastigheter og retning sammen for hver enkelt time. Dette gjør at usikkerheten rundt intensiteten av slagregnet blir mindre da man ikke antar at lette regnbyger og kraftige regnbyger fordeler seg likt for alle retninger. Det at målingene gjøres på timesbasis er også med på å redusere usikkerheten rundt vindhastigheten ved nedbør, i forhold til målinger gjort tre til fire ganger i døgnet. På bakgrunn av dette anses det at metoden i denne oppgaven vil gi et mer korrekt bilde av slagregnet, men som tidligere nevnt er tilgangen på nødvendig timesdata begrenset.

Resultatene fra beregningene i denne oppgaven vil også være naturlig å sammenligne med resultatene fra Rydock et al. (2005). Hvis man ser på fordelingen av slagregnet for Oslo, Bergen og Trondheim ser man en tydelig likhet i resultatene. For Trondheim er det en endring av retningen, der denne oppgaven viser en dreining mot sør for retningen med høyest slagregnsmengde. Antageligvis skyldes dette bruk av forskjellige værstasjoner ved analyse av Trondheim, der denne rapporten har benyttet værstasjonen på Voll, i motsetning til værstasjonen på Værnes. For Oslo er 30 grader og 180 grader toppunkter i begge rapportene. For Bergen er 150 grader toppunkter i begge rapportene. Forskjellene er derimot større når man ser på mengdene slagregn. I Tabell 22 er verdier fra Rydock sammenlignet med slagregnsverdiene i denne oppgaven. Her ser man at slagregnsmengdene for alle de tre byene er høyere sammenlignet med Rydock, men man ser samtidig at økningen i Trondheim er beskjeden i forhold til Oslo og Bergen. Rydock benyttet værkoder til å bestemme om nedbøren kom som regn eller snø, i motsetning til temperatur, som brukt i denne oppgaven. Når man ser på andelen som er beregnet som regn er det store forskjeller, med unntak av Bergen der ca. 10% av nedbøren er antatt som snø i begge rapportene. Fra før er det vist at nedbørsmengden i Bergen var 16,4% høyere en nedbørsnormalen, noe som er med på å forklare at totalt årlig slagregn er høyere (deler av dataperioden sett på i Rydock overlapper med nedbørsnormalen 1961-90). For Oslo vil også det totale årlige slagregnet bli noe redusert hvis man antar at andelen nedbør i form av regn ligger nærmere 72%, i motsetning til 90% denne oppgaven har beregnet. En slik økning av nedbør kategorisert som snø vil føre til at totalt årlig slagregn vil bli vesentlig likere. For Trondheim, der forskjellene i utgangspunktet er mindre på grunn av likere nedbørsmengder, er andelen kategorisert som regn betydelig lavere i Rydock sin rapport, der 73% er kategorisert som regn mot 89% som beregnet i denne rapporten. Det er ikke gjort eksakte beregninger på innvirkning av dette, men man kan se at slagregnsmengdene i denne rapporten ville blitt noe lavere enn Rydocks resultater. Dette peker i retning av at en beregning av slagregn på timesbasis gir noe mindre slagregnsmengder, men her ligger det en feilkilde i at værdatagrunnlaget for Trondheim er hentet fra ulike værstasjoner, med tilsvarende ulik værpåkjening.

Tabell 22 Sammenligning av slagregnsmengder med Rydock et al. (2005) (i parentes), for de fire himmelretningene.

By	Årlig slagregn fra retning, I <sub>A</sub>				Totalt årlig slagregn
	Nord	Øst	Sør	Vest	
<b>Oslo</b>	230 (153)	196 (149)	187 (142)	51 (39)	663 (483)
<b>Bergen</b>	215 (210)	904 (772)	1635 (1328)	375 (323)	3129 (2633)
<b>Trondheim</b>	52 (75)	31 (30)	298 (140)	357 (417)	739 (713)

Å konkludere med at beregning av slagregnsindeksen på timesbasis gir et mer sikkert resultat er uklart. Ved sammenligning av resultatene er det store likheter i retningen for størst og minst slagregns påkjening. I snitt har denne rapporten funnet høyere slagregnsverdier. Dette kan forklares med økt nedbør i dataperioden og metoden for å kategorisere regn og snø, som førte til at mer av nedbøren ble kategorisert som regn. Det er antatt at beregnede slagregnsmengder sett opp mot feltmålinger fra samme periode vil gi et mye tydeligere svar på hvilken metode som best beskriver slagregnsmengdene i et område.

## Brukbarhet av dataen utenom målestasjonene

Oslo, Bergen og Trondheim ble dels valgt på grunn av ulikheter i klima og dels for at dataen skal være aktuelle for flest mulig, samt tilgangen på data. Terrenget rundt målestasjonen vil påvirke størrelsen på område resultatene vil være aktuelle for. Slagregnsberegninger i flate områder (høydevariasjon mindre enn 100 m) vil være aktuelle opp til 100 km fra målestasjonen, mens for kupert terreng vil resultatene kun være aktuelle i umiddelbar nærhet til målestasjonen (Standard Norge, 2009). Oslo og Trondheim kan sies å ha delvis kupert terreng, mens for Bergen vil det kupert terrenget føre til at resultatene kun vil være aktuelle for Bergen sentrum. For Oslo og Trondheim kan det antas at resultatene har en viss sikkerhet også utenfor byene. Likevel vil resultatene gi et bilde av slagregnsbelastningen selv om nøyaktigheten blir lavere.

## Variasjon i dataen

Det ble også sett på enkeltår og hvor stor økning det året med mest slagregn i datasettet hadde i forhold til gjennomsnittsåret. Tabell 23 viser slagregnsindeksen (mm/år) for nord, øst, sør og vest, samt en samle verdi for alle retninger. Det er vist slagregnsindeks for normalåret og ekstremåret, sammen med den prosentvise økningen fra normalen. For enkeltretningene er det hentet inn de mest ekstreme verdiene fra de ulike årene. Der det ses på slagregnet fra alle retninger, er året med mest slagregn fra de fire retningene hentet frem og sammenlignet med gjennomsnittsåret for perioden.

Tabell 23 Ekstreme slagregnsmengder sammenlignet med beregnet gjennomsnitt,  $I_A$  [mm/m<sup>2</sup>].

By		Retning				
		$I_{A,0}$ Nord 0 grader	$I_{A,90}$ Øst 90 grader	$I_{A,180}$ Sør 180 grader	$I_{A,270}$ Vest 270 grader	$I_A$ Alle retninger
Oslo	Normalår	230	196	187	51	663
	Ekstremår	386	272	232	60	834
	Økning	68%	38%	24%	18%	26%
Bergen	Normalår	215	904	1635	375	3129
	Ekstremår	250	1278	2222	613	4068
	Økning	63%	41%	36%	63%	30%
Trondheim	Normalår	52	31	298	357	739
	Ekstremår	73	46	333	460	891
	Økning	40%	47%	12%	29%	21%

Tabell 23 er hentet frem for å synliggjøre variasjonen i datasettet. Når man ser på alle retningene sammen, har man en økning på 20-30% i det året med mest slagregn sammenlignet med gjennomsnittsåret. For enkeltretninger er økningen enda større, hvor man ser en økning på over 60% fra normalåret. Denne variasjonen bør tas hensyn til ved dimensjonering av fasader med tanke på fuktbestandighet. Det finnes også år med tilsvarende lavere slagregnsberegning enn normalåret, men dette er ikke vist.

## 4.2.2 Slagregnsindeks for korte intervall

For å gi en bedre innsikt i slagregnsmengder for kortere tidsperioder er det hentet frem slagregnsmengder for intervaller på 4 uker, 1 uke, 6 timer og 1 time. Det er sett på de fire hovedretningene og for alle de fire retningene samlet. For de fire hovedretningene er det sett på de mest ekstreme tidsperiodene fra de ulike årene. Der alle retninger ses på samlet, er det summert opp slagregnsverdier fra de fire retningene fra samme tidsperiode. Tabell 24 viser de største slagregnsverdiene (mm/tidsintervall) for de ulike intervallene for Oslo, Bergen og Trondheim.

Tabell 24 Ekstremverdier for slagregn ved korte tidsintervaller [mm/tidsperiode].

BY	Retning	Tidsintervall				
		4 uker	1 uke	1 dag	6 timer	1 time
<b>Oslo</b>	Nord (0 grader)	114,4	69,5	42,7	31,2	15,2
	Øst (90 grader)	85,9	44,1	30,2	15,4	13,5
	Sør (180 grader)	68,0	41,7	24,9	18,7	8,2
	Vest (270 grader)	19,7	12,4	9,9	9,8	9,8
	Alle retninger	224,4	120,5	72,1	44,6	27,5
<b>Bergen</b>	Nord	78,2	54,4	48,6	23,8	9,0
	Øst	256,2	129,9	67,1	31,9	9,9
	Sør	456,4	231,8	105,6	61,1	14,1
	Vest	163,8	117,5	106,0	44,2	10,2
	Alle retninger	876,6	384,6	172,7	93,0	23,9
<b>Trondheim</b>	Nord	21,6	12,8	10,8	9,5	5,5
	Øst	17,3	12,4	9,0	9,0	5,3
	Sør	101,8	55,7	30,3	15,6	6,9
	Vest	167,8	82,7	45,9	25,0	7,3
	Alle retninger	261,3	126,9	73,1	39,2	10,9

Når man ser på kortere intervaller, øker intensiteten på slagregnet per tidsintervall betydelig. Hvis man ser nærmere på verdiene for Oslo sammenlignet med Bergen og Trondheim, ser man at timesintensiteten er høy i forhold til de lengre tidsintervallene. Det sier at Oslo opplever tidvis kort og kraftig ekstremvær. Når man ser på Bergen, ser man at timesverdiene ikke er like intense, men ved lengre tidsperioder ser man en høyere slagregnsindeks. Det vil si at Bergen ikke opplever like ekstremt vær, men kan

oppleve generelt mye slagregn over lengre perioder. For Trondheim ser man verdier som ligger mellom Oslo og Bergen.

Hvilket tidsrom som er mest kritisk med tanke på muggvekst er uklart. Derfor er det fremhevet ulike tidsintervaller med slagregn. I denne oppgaven er det ikke sett videre på hva som fører til fukt- og råteskader og hvilke tidsintervaller som er mest kritisk.

Værdataen i denne oppgaven er hovedsakelig tiltenkt brukt i slagregnsberegningene for et gjennomsnittså, som vist i Figur 46, Figur 47 og Figur 48. Her vil den store mengden datapunkter utjevne usikkerhet og feil i dataen for nedbør, temperatur, vindhastighet og -retning. Den store datamengden gjør at den årlige slagregnsindeksen basert på 8-9 år med data er i veldig liten grad påvirket av denne type feilkilder. Derimot, når man se på kortere perioder, vil denne type feilkilder ha større innvirkning. Spesielt for timesintervallet vil usikkerheten være spesielt stor, da verdien er et ekstremalpunkt i et datasett på rundt 80 000 linjer. Dermed er verdien ganske usikker og det må vises forsiktighet rundt konklusjoner basert på de korteste intervallene vist i Tabell 24.

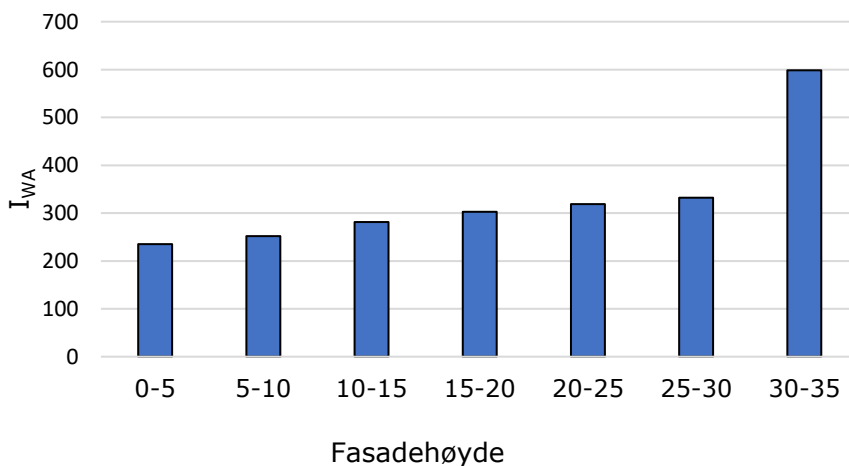
### 4.2.3 Inntrengende vannmengder for eksempelbygg

For å gi en bedre forståelse av vannmengdene som trenger inn i en fasade, er det utført slagregnsberegninger for et eksempelbygg.

#### Korreksjonsfaktorer

Slagregnsindeksen korrigeres for skjerming og andre forhold som reduserer eller øker slagregnsmengden. Beregningene som er foretatt tilhører eksempelbygget, og er basert på dets lokale forhold. Fasadene i eksempelbygget ble delt opp i soner på 5 m x 5 m, men av resultatet viste det seg at korreksjonsfaktorene i samme høyde var like. Derfor er det valgt å presentere resultatet i et diagram hvor man kan se hvor stor mengde av slagregnet som faktisk treffer fasaden. Slagregnsindeksen for fasaden er minst ved bunn og øker oppover, da skjermingen er lavere i høyden. Mye av nedbøren når ikke frem til fasaden på grunn av skjerming fra nabobygg, terrengets ruhet og topografien i området.

Årlig slagregnsindeks for sørlig retning er  $I_A = 1635 \text{ l/m}^2 \text{ (mm/m}^2\text{)}$ , som er den mest belastede fasaden. Av Figur 49 ser man slagregnsindeksen for sørfasaden. Det er en markant reduksjon sammenlignet med slagregnsindeksen for sørlig retning. Slagregnsindeks for resterende fasader kan sees i Vedlegg 1.



Figur 49 Årlig slagregnsindeks ( $I_{WA}$ ) for sørfasade,  $I_A = 1635$ , (Vedlegg 1).

Når slagregnsindeksen er korrigert, vil sørfasaden utsettes for 250-600 l/m<sup>2</sup> i løpet av et år. Gjennomsnittlig vil slagregnsindeksen for hele sørfasaden være 359 l/m<sup>2</sup>. Beregnede korreksjonsfaktorer for alle fasadene varierer fra 7-37%. Altså vil lokale forhold redusere slagregnsindeksen for fasaden.

Tidligere feltmålinger har beregnet korreksjonsfaktorer som varierer fra 9-120% (Blocken & Carmeliet, 2004). Resultatene fra beregningene i denne oppgaven er noe lavere, med 7-37%. Korreksjonsfaktoren vil variere fra bygg til bygg, avhengig av utformingen på landskapet rundt. Disse resultatene fra de teoretiske beregningene, skal i beste fall benyttes som et grovt estimat (Blocken & Carmeliet, 2004). I denne oppgaven benyttes beregningene av I<sub>WA</sub> som et estimat på hvor mye nedbør fasaden i kan utsettes for.

## Slagregnsindeks for fasade

I Tabell 25 ser man gjennomsnittlig slagregnsindeks for fasadene for syv ulike intervaller. Slagregnsindeksene er kombinert med overflatearealet til fasaden for å fastslå den totale vannmengden fasaden utsettes for.

Tabell 25 Slagregnsindeks [mm/tidsenhet] for sørfasade til eksempelbygget (Vedlegg 1).

Periode	Nordfasade		Vestfasade		Sørfasade		Østfasade	
	Snitt I <sub>WA</sub>	Totalt [l]	Snitt I <sub>WA</sub>	Totalt [l]	Snitt I <sub>WA</sub>	Totalt [l]	Snitt I <sub>WA</sub>	Totalt [l]
<b>Snitt 1 år</b>	22,7	20400,9	135,8	71272,0	359,0	287178,0	63,5	33319,5
<b>1 år</b>	26,4	23756,3	191,9	100738,4	487,7	390183,2	103,7	54434,4
<b>4 uker</b>	8,3	7431,0	24,6	12911,5	100,1	80108,7	43,3	22750,6
<b>1 uke</b>	5,7	5169,4	17,6	9261,9	50,9	40704,1	22,0	11535,1
<b>1 dag</b>	5,1	4618,2	8,8	4618,2	5,8	4618,2	8,8	4618,2
<b>6 timer</b>	2,5	2261,6	4,3	2261,6	13,4	10729,2	5,4	2832,7
<b>1 time</b>	1,0	855,2	1,5	804,0	3,1	2476,0	1,7	879,1

Av Tabell 25 ser man at sørfasaden (800 m<sup>2</sup>) kan på det meste utsettes for vannmengder opp til 2 476 liter per time. På en uke kan fasaden på det meste bli utsatt for opptil 40 704 liter vann. Det er vanskelig å fastslå hva som er mest skadelig for konstruksjonen. Ekstreme nedbørspåkjenninger under korte intervaller vil belaste konstruksjonen med store mengder på veldig kort tid. Lengre regnværperioder vil gi konstruksjonen begrenset uttørkingsmuligheter. Man kan anta at intense regnskylt ikke er problematisk hvis bakveggen er dimensjonert for dette, og får tørket ut i ettertid. Derimot kan lengre perioder med regn føre til at fukt ikke får tørket ut, og blir liggende i konstruksjonen, noe som kan føre til fukt- og råteskader.

## Vanninntrengning i fasadekledning

Når man kombinerer slagregnsindeksen for fasaden, I<sub>WA</sub>, med forsøkene som er utført i laboratoriet vil man kunne estimere vannmengden som trenger gjennom horisontalfugene i eksempelbygget. Av beregningene i Vedlegg 2 ser man prosentfordeling av inntrengende vann, som vist i Tabell 26.



Tabell 26 Prosentfordeling av inntrengende vann i fasadekledning.

Snittverdi 3 mm fug				
	A	B	C	D
	Påført vannmengde	Utside plate	Bakside plate	Bakvegg
ml vann	6000	5380	570	50
%	100 %	89,7 %	9,5 %	0,8 %
Snittverdi 5 mm fug				
	A	B	C	D
	Påført vannmengde	Utside plate	Bakside plate	Bakvegg
ml vann	6000	4935	1000	65
%	100 %	82,3 %	16,7 %	1,1 %
Snittverdi 8 mm fug				
	A	B	C	D
	Påført vannmengde	Utside plate	Bakside plate	Bakvegg
ml vann	6000	4095	1800	105
%	100 %	68,3 %	30,0 %	1,8 %

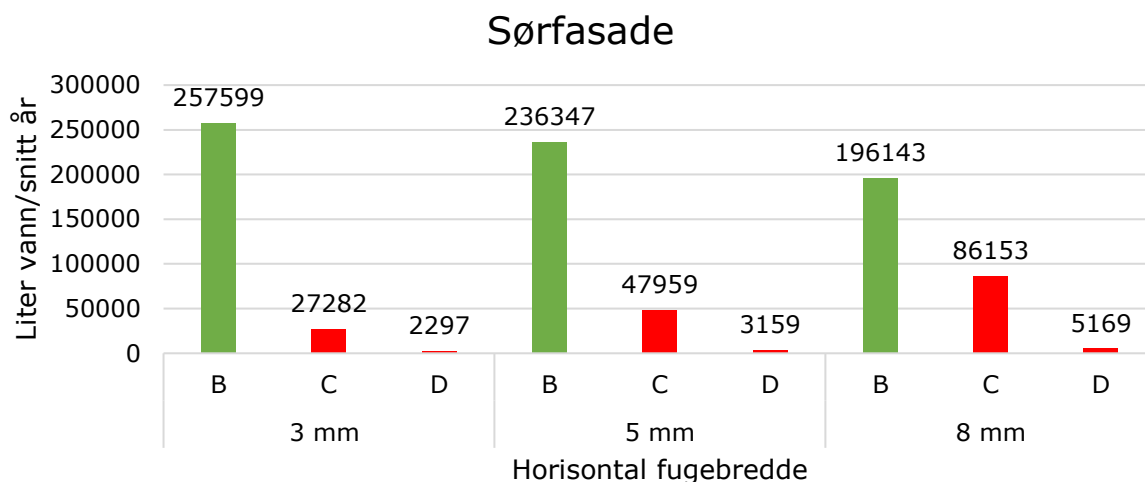
Da sørfasaden er mest utsatt for slagregn, presenteres disse resultatene her. Resultater for resterende fasader er vist i Vedlegg 2. Av resultatene for sørfasaden i Tabell 27 ser man hvor mye vann som trenger gjennom fasaden i løpet av ulike nedbørsperioder, hvor B er utside kledning, C er bakside kledning og D er bakvegg, som beskrevet i kapittel 3.2.4, Figur 27.

Tabell 27 Vanninntrengning i sørfasade (Vedlegg 2).

Periode	Snitt IWA	A Totalt [l]	3 mm fug			5 mm fug			8 mm fug		
			B [l]	C [l]	D [l]	B [l]	C [l]	D [l]	B [l]	C [l]	D [l]
Snitt år	359,0	287178,0	257598,7	27281,9	2297,4	236347,5	47958,7	3159,0	196142,6	86153,4	5169,2
1 år	487,7	390183,2	349994,3	37067,4	3121,5	321120,8	65160,6	4292,0	266495,1	117055,0	7023,3
4 uker	100,1	80108,7	71857,5	7610,3	640,9	65929,5	13378,2	881,2	54714,3	24032,6	1442,0
1 uke	50,9	40704,1	36511,6	3866,9	325,6	33499,5	6797,6	447,7	27800,9	12211,2	732,7
1 dag	5,8	4618,2	4142,5	438,7	36,9	3800,8	771,2	50,8	3154,2	1385,5	83,1
6 timer	13,4	10729,2	9624,1	1019,3	85,8	8830,1	1791,8	118,0	7328,0	3218,7	193,1
1 time	3,1	2476,0	2220,9	235,2	19,8	2037,7	413,5	27,2	1691,1	742,8	44,6

Her er det antatt en lineær sammenheng mellom påført vann og prosentvis inntrengning, som forklart i metodekapittelet. Hensikten er ikke å beregne detaljerte verdier for vannmengder som trenger gjennom de horisontale fugespaltene, men å gi et estimat på hvor mye vann som belaster forskjellige sjikt i en luftet kledning. Av Tabell 27 ser man eksempelvis at bakveggen på det meste kan belastes for opptil 44,6 liter på en time, ved 8 mm fugebredde. Videre danner resultatet et bilde på hvordan vanninntrengningen varierer avhengig av dimensjon på horisontal fug.

For videre å synliggjøre hvordan vannet fordeler seg over fasaden ved forskjellige fugebredder, er resultatet fremstilt i diagrammer i Vedlegg 2. For sørfasaden er fordelingen for et gjennomsnittlig år illustrert i Figur 50. B er utside kledning, C er bakside kledning og D er bakvegg, som beskrevet i kapittel 3.2.4, Figur 27.



Figur 50 Vannfordeling over kledning for sørfasade for et gjennomsnittsår (Vedlegg 2).

Av Figur 50 er det tydelig at mer vann trenger inn gjennom horisontal fug, desto bredere fugebredden er. Av beregningene kan man se at mengder på opp til 86 153 liter vann vil føres bak kledningen i løpet av et gjennomsnittlig år.

Beregningene synliggjør vannmengdene en fasade i Bergen eksponeres for. Verdiene i Tabell 27 er for den mest belastede fasaden, i en av Norges våteste byer. Estimater som er gjort i denne oppgaven belyser forholdene en fasade i Bergen må kunne takle. For andre prosjekter bør lokale feltmålinger utføres, og gjerne over lengre tid. Vindsperreprodukter skal tåle belastningen den blir utsatt for, da de skal fungere som underkledning for veggen (SINTEF community, 2013b). Feil i utførelse, prosjektering og svake punkter i vindsperrsjiktet, som gjennomføringer og skjøter, kombinert med høye slagregnsbelastninger kan resultere i fuktskader.

## 5 Konklusjon

Resultatene fra forsøkene der det ble testet ulike fugebredder viste at økende fugebredder ga en økning i vanninntrengningen både på baksiden av fasadeplaten og på bakveggen. Ved 3 mm fugebredder ble det observert at vann ble stående i fugen selv etter at testen var gjennomført, noe som kan føre til fuktskader og misfarging. Det anbefales derfor å benytte fuger som har en bredde på 5 mm, da dette er tilstrekkelig for å unngå problemet med at vann blir stående i fugespalten, samtidig som man lar minst mulig vann trenge gjennom fugeåpningen.

Det ble også testet ulike fugebredder med en tykkere fasadeplate som ble montert på horisontale lekteprofiler(krysslekting). Resultatene herifra ga et noe motstridende svar, og resultatene tilsa at en fugebredde på 10-15 mm ga minst vann på bakveggen. Under forsøkene viste det seg at det samlet seg vann på oversiden av de horisontale lektene. Vannet som samlet seg på oversiden av lekten tenderte til å dryppe ned på underliggende lekt, som igjen førte til at det sprutet vann på bakveggen. Det ble også liggende vann i lektene lenge etter at forsøket var gjennomført. Her anbefales det å perforere lektene slik at vannet kan dreneres videre nedover platens innside, noe som vil kunne redusere disse problemene. Under forsøkene ble det observert stor grad av dråpedannelse på hele bakveggen, og det er derfor viktig at bakveggen er tilpasset denne belastningen.

Under testing av horisontalprofiler var resultatene noe overaskende. Profil 1 og 3 viste seg å lede store mengder vann inn på bakside kledning, men skjermet bakveggen godt. Profil 2 viste seg å fungere veldig bra, og holdt alt av vann på utsiden av kledningen, selv ved et overtrykk på 600 Pa i testskapet. Av observasjonene som ble gjort kan man konkludere med at profil 1 og 3 har en geometrisk utforming som virker mot sin hensikt. Profilene leder vann inn på bakside plate, da dryppkanten er for kort. Profil 2, eller lignende heldekkende profiler, er å anbefale for fasader som er slagregnsutsatte.

Ved testing av fugeutforminger med overheng eller skråskjæring, viste det seg at disse endringene ga positive resultater. 1/2 platetykkelse overheng ga opptil 50% reduksjon, mens 1/1 platetykkelse overheng ga opptil 80% reduksjon i inntrengende vann. Skråskjærte utforminger av platene ga overaskende gode resultater. Ved å skråskjære både overkant og underkant i fug trengte ikke noe vann inn i fugen. Skråskjært overkant og flat underkant hadde også en god effekt, der vanninntrengningen ble opptil halvert. Av resultatet og observasjoner vil man kunne konkludere med at disse løsningene er å anbefale, spesielt skråskjært fug som ga de beste resultatene. Disse løsningene anses som enkle og kostnadseffektive for å hindre vanninntrengning.

For alle fasader som står på slagregnsutsatte områder anbefales det å benytte profilløsninger som profil 2 i horisontalfugene, da disse viser seg å effektivt redusere vanninntrengning, til og med under trykk. For fasader der profiler ikke nyttes anbefales skråskjærte fugeløsninger eventuelt overheng. Disse løsningene vil i stor grad redusere vanninntrengning, og i liten grad påvirke fasadens uttrykk. Generelt er det funnet at fasader med plane fasadeplater utført med åpne horisontale fuger fører til at relativt store mengder vann trenger inn igjennom fugen. Det er dermed viktig å ta hensyn til dette når man prosjekterer fasadens bakvegg og lektesystem, slik at man sikrer god drenering, og at fasaden tåler fuktbelastningen den utsettes for.

Slagregnsberegningene som er utført i denne oppgaven viser hvordan værpåkjenningene vil variere ut ifra sted og retning. Det er brukt værdata på timesbasis ved beregningene, for å gi et mest mulig presist bilde av værpåkjenningene. Disse beregningene viser derimot ikke store forskjeller fra tidligere funn. Generelt er det beregnet en økning i slagregn, selv om dette blant annet kan forklares med at det er målt mer nedbør de siste årene, som også er de årene værdataen i oppgaven er hentet fra. Det er også ulikheter i metoden for kategorisering av nedbør.

Beregningene som er utført i denne oppgaven viser at store mengder vann belaster fasaden. Spesielt i korte tidsrom kan man oppleve ekstreme nedbørsmengder. Av resultatene i eksempelet kan man se at store deler av vannmengdene trenger gjennom fasadekledningen og treffer bakveggen. Under prosjektering av nye bygg bør det dermed tas høyde for lokale vind- og nedbørsforhold, slik at fasaden prosjekteres til å takle de lokale påkjenningene den blir utsatt for.

## 6 Forslag til videre arbeid

Temaet for denne oppgaven har vært interessant og bredt. Selv om oppgaven besvarer mange spørsmål, stiller den minst like mange nye spørsmål. Da oppgaven har vært begrenset til et lite hjørne av temaet, er det mange momenter som står urørt. De mest sentrale områdene som vi mener krever mer forskning og oppmerksomhet er som følger:

- Flere forsøk under samme rammer for å kvalitetssikre oppgavens resultater.
- Åpne vertikalfuger.
- Åpne fuger under trykk.
- Annen geometri på fuger og platekledning.
- Flere og nye eksperimentelle profilløsninger.
- Utføre feltforsøk for å kontrollere metoden for slagregnsberegning.
- Undersøke vekstkriterier for mugg og sopp i treverk, og hvilke nedbørsperioder som er kritisk for slik vekst.

### **Forbehold**

Alle vurderinger og anbefalinger gjort av forfatterne i denne oppgaven er helt og holdent deres egne. All finansiell støtte fra leverandører av fasadeprodukter eller annen finansiell støtte, har på ingen måte påvirket resultatet eller vurderingen av resultatene. Forfatterne har heller ingen finansielle interesser knyttet til resultater i denne oppgaven ovenfor leverandørene, eller knyttet til bruk og distribusjon av oppgaven. Oppgaven er helt og holdent skrevet i akademisk øyemed.

## 7 Referanser

- Bassett, M. & Overton, G. (2015) Measuring the weathertight performance of flashings, *Buildings*, 5(1), s. 130-148.
- Blocken, B. & Carmeliet, J. (2004) A review of wind-driven rain research in building science, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92(13), s. 1079-1130.
- Cembrit Norge (u.å.) *Cembrit Patina Original*. Tilgjengelig fra: <https://www.cembrit.no/fasade/den-autentiske/cembrit-patina-original/#downloads> (Hentet: 19. juni 2020).
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2019a) Klima i Norge, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/klima\\_i\\_Norge](https://snl.no/klima_i_Norge) (Hentet: 16. november 2019).
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2019b) Meteorologisk stasjon, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/meteorologisk\\_stasjon](https://snl.no/meteorologisk_stasjon) (Hentet: 24. februar 2020).
- Henriques, F. M. A. (1992) Quantification of wind-driven rain - An experimental approach, *Building Research and Information*, 20(5), s. 295-297.
- Isaksen, T. (1964) *Fugeutforming og slagregnsgjennomgang*. (Særtrykk 93). Oslo: Norges Byggeforskningsinstitutt.
- Isaksen, T. (1966) *Åpne fuger i utvendige kledninger?*. (Særtrykk 138). Oslo: Norges Byggeforskningsinstitutt.
- Kvande, T., Lisø, K. R. & Berit, T. (2007) *Luftede kledninger*. (Rapport 2). Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- Madrid, J. F. (2010) Study of influence of wind pressure and rain conditions in rain screen walls, *Structural survey*, 28(1), s. 46-52.
- Mas, Á. et al. (2011) Design and construction recommendations to improve impermeability in rainscreen walls built with natural stone coverings, *Construction and building materials*, 25(4), s. 1753-1761.
- Meteorologisk institutt (2017) *Det blir varmere*. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/hvordan-blir-vaeret-i-framtiden> (Hentet: 07. mai 2020).
- Meteorologisk institutt (2017) *Det blir våtere*. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/det-blir-vaere> (Hentet: 16. november 2019).
- Meteorologisk institutts (u.å.) *eKlima*. Tilgjengelig fra: [eklima.met.no](http://eklima.met.no) (Hentet: 27. mars 2020).
- Norconsult (2016) *Vurdering av vindforhold*. Tilgjengelig fra: <https://www.bergen.kommune.no/publisering/api/filer/T538553554> (Hentet: 23. mars 2020).
- Noreng, K. & Strandholmen, B. (2004) *Vindlast på flate tak Innfesting av fleksible takbelegg*. (Prosjektrapport 360). Oslo: Norges byggeforskningsinstitutt.
- Racatala, M. A., Morales, S. G. & van den Bossche, N. (2018) Experimental assessment of rainwater management of a ventilated facade, *Building Physics*, 42(1), s. 38-67.

Rydock, J. P. et al. (2005) A driving rain exposure index for Norway, *Building and Environment*, 40(11), s. 1450-1458.

SINTEF community (2003) 471.043 Vindlaster på bygninger, *Byggforskserien*.

SINTEF community (2013a) 451.031 Klimadata for dimensjonering mot regnpåkjønning, *Byggforskserien*.

SINTEF community (2013b) 542.003 Totrinnstetning mot slagregn på fasader, *Byggforskserien*.

SINTEF community (2019) 542.502 Utvednig kledning med plane plater, *Byggforskserien*.

Standard Norge (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster*.

Standard Norge (2009) *NS-EN ISO 15927-3:2009 Bygningers hygrotermiske egenskaper - Beregning og presentasjon av klimadata - Del 3: Beregning av dynamisk regnindeks for vertikale overflater basert på timesdata for vind og regn*.

Thue, J. V. (2016) *Bygningsfysikk*. 1. red. Trondheim: Fagbokforlaget.

Universitetet i Oslo (2017) *Overflatespenning*. Tilgjengelig fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/o/overflatespenning.html> (Hentet: 31. mars 2020).

