

KNUT NORENG, MARIUS KVALVIK OG SIVERT UVSLØKK

Feltstudie av et robust kompakt tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørringsevne

Prosjektrapport 93

2012



SINTEF Byggforsk

Knut Noreng, Marius Kvalvik og Sivert Uvsløkk

Feltstudie av et robust kompakt tak med luftekanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørrkingsevne

Prosjektrapport 93 – 2012

Prosjektrapport nr. 93

Knut Nøreng, Marius Kvalvik og Sivert Uvsløkk

Feltstudie av et robust kompakt tak med luftekanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørkingsevne

Emneord:

Feltstudie, kompakt tak, luftekanaler, selvuttørkingsevne

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1267-6 (pdf)

ISBN 978-82-536-1268-3 (trykt)

Prosjektnr.: B2247952

Foto omslag: SINTEF Byggforsk

50 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2012

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørking er en løsning av kompakte tak med små kanaler i isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning for kontrollert luftgjennomstrømning og derigjennom økt evne til selvuttørking. Denne prosjektrapporten oppsummerer en delaktivitet i delprosjektet "Robuste kompakte tak" i forskningsprosjektet ROBUST.

Vi har gjennom flere studier sett at tilsiktet og utilsiktet luftgjennomstrømning i kompakte tak kan bidra til økt uttørking. Gjennom en systematisk oversikt over de viktigste uttørkingsmekanismene som kan opptre, har vi også forsøkt å kvantifisere hvilket uttørkingspotensial de ulike mekanismene har. Kvantifiseringen er hovedsakelig gjort på grunnlag av teoretiske beregninger, men erfaringstall fra feltundersøkelsen "Fukt i kompakte tak" [2] er også lagt til grunn. Løsningene diskutert i prosjektrapport 63 [1] er i dette feltstudiet prøvd i praksis. Taket på "elementbygget" på SINTEF Byggforsk sitt prøvefelt på Voll i Trondheim er ombygd som et kompakt tak med luftkanaler. Taket ble tilført tilsammen 4,1 l/m² vann i tre sjikt og instrumentert med tanke på å måle trykk, temperatur og fuktinnhold så man kan beregne luftgjennomstrømning i kanalene og uttørking.

ROBUST *Robust envelope construction details for buildings of the 21. century* er et forskningsprosjekt som retter søkelyset mot klimatilpassede, miljø- og energieffektive løsninger for dagens og fremtidens bygninger. Prosjektets hovedmål er å utvikle ny kunnskap og nye metoder for bruk av robuste konstruksjonsdetaljer og løsninger, og bruk av effektive isolasjonsmaterialer i godt isolerte bygninger. Robuste konstruksjonsdetaljer og løsninger oppnås gjennom bruk av materialer og løsninger som har stor sikkerhet mot feil som kan gi fuktproblemer, og som med stor sikkerhet tilfredsstiller kravene i Byggteknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK10).

ROBUST ledes av SINTEF Byggforsk (vertsinstitusjon) og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og gjennomføres i samarbeid med AF Gruppen ASA, Glava A/S, Hunton Fiber AS, Icopal as, Isola as, Jackon AS, maxit as, Moelven ByggModul AS, Rambøll Norge AS, Skanska Norge AS, Statsbygg og Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF). Prosjektet ble igangsatt våren 2008 og vil pågå til 1. mai 2012.

Vi ønsker å rette en takk til prosjektets partnere, spesielt til Takprodusentenes forskningsgruppe som har deltatt aktivt både i finansiering og gjennomføring av delprosjektet, og Norges forskningsråd for finansieringen av forskningsprosjektet ROBUST.

Oslo/Trondheim, mars 2012

Vivian Meløysund
SINTEF Byggforsk
Prosjektleder ROBUST

Arild Gustavsen
NTNU
Vitenskapelig ansvarlig i ROBUST

Sammendrag

Tradisjonelt bygges kompakte tak opp uten planlagt naturlig lufting eller selvuttørkingsevne. Se fig. 1.2. Byggfukt og annen fukt som kommer inn i et tradisjonelt kompakt tak kan bli værende i taket i flere år før den eventuelt tørker ut. Det betyr i verste fall at det vil være lange perioder med temperatur- og fuktforhold som kan være gunstige for soppvekst i taket, spesielt de første årene.

Kompakte tak anbefales derfor bygd av materialer som tåler fukt og som ikke er utsatt for råtesopp. Muggsoppvekst kan en imidlertid ikke hindre helt gjennom materialvalg. Muggsopp svekker ikke takkonstruksjonens bæreevne, men sopp sporer og mykotoksiner fra muggsopp kan i verste fall spre seg fra taket og inn i bygget og virke negativt inn på inneluftkvaliteten. Muggsopp er derfor uønsket, også i kompakte tak. I tillegg vil fukt i taket senke isolasjonsevnen. For å begrense muggsoppveksten og for å sikre best mulig varmeisolasjonsevne er det derfor ønskelig med en viss uttørkingsevne for å holde fuktinnholdet lavt også i kompakte tak.

På SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim ble det i perioden sommeren 2010 til årsskiftet 2011/2012, utført et pilotprosjekt om "Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet" for å utvikle tak med økt selvuttørkende evne. Pilotprosjektet er utført for å få verifisert resultatene og anbefalingene i et teoretisk studium utført tidligere [1].

I tillegg til målingene gjort i pilotprosjektet og til de teoretiske studiene utført i [1] er det gjort supplerende beregninger av samlet uttørkingskapasitet for fire ulike tilfeller; tak med samme oppbygning og kanaler som forsøktaket på Voll for både Trondheims klima og Oslo klima, og tak med dobbelt så stort kanalvernsnitt og litt større senteravstand sammenlignet med forsøktaket på Voll for både Trondheims-klima og Oslo-klima. Beregningene viser at med samme oppbygning og kanaler 30x20 mm, c/c 200 mm, vil uttørkingen med Oslo-klima kunne være omtrent dobbel så stor som med Trondheims klima. Beregningene viser også at med samme klima vil uttørkingen være vesentlig større med luftkanaler 40x30 mm og c/c 300 mm enn med 30x20 mm og c/c 200 mm.

Regneprogrammet som ble benyttet tar ikke hensyn til økningen i temperatur i øvre del av taket på grunn av direkte soloppvarming. Av erfaring vet vi at denne temperaturhevingen øker uttørkingsevnen vesentlig. Dette vil si at uttørkingen i virkeligheten er større enn hva beregningene våre viser, og at det er en viktig forklaring på forskjellen mellom beregnet og målt uttørking for taket på Voll. Vi kan også se at størstedelen av uttørkingen skjer i perioden fra mars til og med august.

For øvrig gir pilotprosjektet bekreftelser på at alle hovedkonklusjonene i [1] er riktige:

- Den foreslåtte parapetutformingen med luftespalten inn mot taksiden fungerer tilfredsstillende.
- Vindtrykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene vil i all hovedsak resultere i undertrykk i luftkanalene. Kun i noen begrensede perioder er det trykk i kanalene, og da i et så lite omfang at det ikke vurderes som noe problem sett i forhold til ev. risiko for vindavblåsing.
- Vindhastigheter på byggestedet i størrelsesorden 0 – 5 m/s gir tilstrekkelig drivtrykk for å få ønsket luftgjennomstrømning i luftkanalene.
- Vindretninger med til dels stor vinkel med kanalretningen på opptil $\pm 45^\circ$ vil innenfor de samme vindhastighetene som gitt over (0-5 m/s) fortsatt gi ønsket luftgjennomstrømning i luftkanalene.
- Kanalstørrelsen $b \times h = 30 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ og senteravstand 200 mm, vil i et Trondheims klima gi ca. halvert uttørking i forhold til kanalstørrelse 40 mm x 30 mm, c/c 300 mm i Oslo klima. Det vil imidlertid gi et litt lavere energitap også, ca. 0,75 % mot ca. 1 % for $b \times h = 40 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, c/c 300 mm.

Behovet for uttørking av kompakte tak kan forøvrig begrenses ved bruk av andre tiltak som værbeskyttet bygging, regntette detaljløsninger, lufttett dampsperre og god ventilasjon i bygget. Kompakte tak bør imidlertid fortsatt bygges av materialer som tåler fukt. Selv om en forbedrer uttørkingsevnen, må en regne med høyt fuktinnhold i perioder etter at taket er lukket.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG.....	4
1 INNLEDNING.....	6
1.1 FORMÅL	6
1.2 TRADISJONELLE KOMPakte TAK	6
1.3 BAKGRUNNSDOKUMENTASJON	7
1.4 ROBUSTE, KOMPakte TAK MED LUFTEKANALER OG ØKT EVNE TIL SELVUTTØRKING.....	7
1.5 PILOTPROSJEKT – BAKGRUNN OG HENSIKT	8
2 TAKET I PILOTPROSJEKTET	9
2.1 BYGGET OG BYGGETS PlassERING	9
2.2 BESKRIVELSE AV TAKET	10
2.3 PlassERING AV MÅLEINSTRUMENTER	12
3 RESULTATER OG KOMMENTARER	14
3.1 RESULTATER	14
3.2 FUKTFORDELING I TAKET GJENNOM ÅRET	15
3.3 UTTØRKING AV TAKET.....	17
3.4 VIND PÅ STEDET, VINDTRYKK OG LUFTGJENNOMSTRØMNING I KANALENE.....	19
4 VURDERINGER.....	21
4.1 VINDHASTIGHETER OG VINDRETNINGER.....	21
4.2 RESULTERENDE VINDTRYKKFORSKJELL OG LUFTGJENNOMSTRØMNING I KANALENE	21
4.3 UTTØRKINGSEVNE	21
4.4 PARAPET UTFORMING	22
4.5 LUFTGJENNOMSTRØMNING OG ENERGITAP	24
4.6 LUFTGJENNOMSTRØMNING OG RISIKO FOR BRANNSPREDNING	24
5 FORELØPIGE ANBEFALINGER.....	25
5.1 BRUKSOMRÅDE.....	25
5.2 LØSNINGER	25
6 OPPSUMMERING	29
7 REFERANSER.....	30
VEDLEGG.....	31

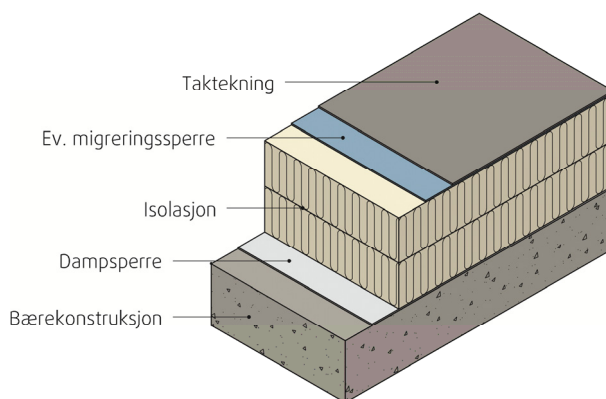
1 Innledning

1.1 Formål

Gjennom flere tidligere arbeider har vi sett at tilsiktet eller utilsiktet luftgjennomstrømning i kompakte tak kan bidra til økt uttørking. Hovedformålet med dette feltstudiet har derfor vært å kontrollere at anbefalingene om utførelse av robuste kompakte tak med luftekanaler og økt evne til selvuttørking gitt i [1] faktisk fungerer også i praksis.

1.2 Tradisjonelle kompakte tak

Tradisjonelt bygges kompakte tak uten planlagt naturlig lufting og har derfor liten uttørkingsevne. Se figur 1.2. Byggfukt og annen fukt som kommer inn i taket må en regne med at kan bli værende i taket i flere år før det eventuelt har tørket ut. Det betyr at det spesielt i de første årene med fare for innbygget fukt fra byggeperioden kan være lange perioder med uønskede fuktforhold i taket.



Figur 1.1

Tradisjonell oppbygning av rettvendt, kompakt tak uten lufting

For å begrense mulighetene for skadelig soppvekst anbefales det å bare bruke materialer som ikke kan gi næring for sopp. En fraråder derfor å bruke treverk og trebaserte materialer i kompakte tak. I stedet brukes materialer som ikke kan råtne som for eksempel stål, betong, mineralull, plast-isolasjon og skumglass.

Det monteres vanligvis en dampspærre på varm side av isolasjonen for å begrense fukttilførsel fra diffusjon nedenfra. Til taktekning brukes asfalt takbelegg eller takfolie. Mens asfalt takbelegg er svært damptette, kan enkelte typer takfolie gi taket en viss uttørkingsevne ved diffusjon. Alle typer taktekning på rull monteres med sveiste skjøter og selve takflaten er derfor praktisk talt lufttett. Ved overganger mellom taket og andre bygningsdeler kan det imidlertid bli utettheter, for eksempel ved avslutning mot gesims eller parapet og mot overlys. Gjennom slike utettheter kan det strømme luft som gir deler av taket en viss uttørkingsevne.

1.3 Bakgrunnsdokumentasjon

Tidligere studier, se [1], [2], [3], [4] og [10], har vist at både tilsiktede luftstrømmer så vel som tilfeldige og utilsiktede luftstrømmer gjennom taket kan gi god selvuttørring, og at når det legges til rette for en styrt, liten gjennomstrømning av luft er potensialet for selvuttørring stort. Det er gjort mange beregninger for å finne ut uttøringspotensialet som grunnlag for de anbefalinger som er gitt i [1]. Beregningene viser at små luftekanaler lagt inn i øvre del av isolasjonslaget som vist i figur 1.3 vil kunne gi en selvuttørring opp mot ca. 50 % av det man får i et luftet isolert skråtak med damppent undertak med dampmotstand $s_d = 0,5$ m.

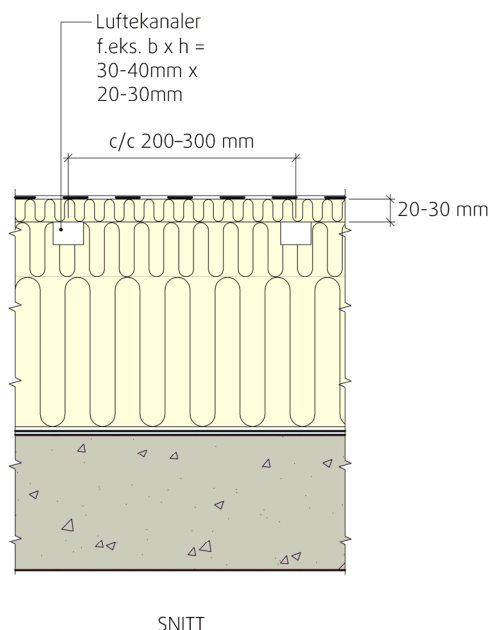
De fleste steder i Norge er midlere vindhastighet mellom 1 og 4 m/s i fyringssesongen. Det er nok til å få en luftstrøm gjennom luftekanalene som gir en selvuttørring som beskrevet i avsnittet over. Det medfører strømningshastigheter i luftekanalene mellom 30 og 300 mm/s. Med slik luftgjennomstrømning og med et isolasjonssjikt over kanalene på 20 mm vil beregnet ekstra varmetap gjennom taket som følge av luftekanalene de fleste steder sannsynligvis være mindre enn 1 %.

[1] viser hvordan parapet bør utformes for å sikre undertrykk i isolasjonssjiktet slik at man unngår økt risiko for vindavblåsing av takbelegget, og slik at parapeten er godt skjermet mot regn- og snøinndrev.

Tak med luftekanaler (iht. fig 1.3) isolert med ubrennbar isolasjon i hele tykkelsen eller med brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbar isolasjon vil i forhold til branntekniske krav kunne benyttes omtrent på samme måte som på tradisjonelle kompakte tak. Ubrennbar isolasjon som dekker til brennbar isolasjon på oversiden, må ha en tykkelse på minimum 30 mm under luftekanalene, samt at det må være ubrennbar isolasjon både rundt og over luftekanalene. På tak med luftekanaler i øvre del av isolasjonssjiktet frarådes brennbar isolasjon som er oppdelt i arealer på maks. 400 m² og som ikke er tildekket med ubrennbar isolasjon.

1.4 Robuste, kompakte tak med luftekanaler og økt evne til selvuttørring

Robuste kompakte tak med luftekanaler og økt evne til selvuttørring, se fig 1.3, innebærer en ny måte å bygge kompakte tak, med små luftekanaler i øvre del av isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning for å få til en kontrollert luftgjennomstrømning gjennom isolasjonssjiktet som bidrar til å øke evnen til selvuttørring [1]. I [1] utførte vi beregninger på grunnlag av luftekanaler $b \times h = 40$ mm x 30 mm med senteravstand c/c 300 mm, og en lengde på kanalene på 10 m. I pilotprosjektet ble det benyttet isolasjonsplate med kanaler $b \times h = 30$ mm x 20 mm med c/c 200 mm, og lengde på kanalene på 11,3 m. Figur 1.3 viser en aktuell oppbygging av taket med isolasjon og luftekanaler med aktuelle dimensjoner for kanaler og isolasjonstykkelse.

**Figur 1.3**

Prinsipiell oppbygning av rettventd, kompakt tak med luftekanaler i øvre del av isolasjonssjiktet for å øke takets selvuttørkende evne.

Ved at luftekanaler og luftgjennomstrømning ble introdusert var det en rekke forhold som måtte vurderes:

- Luftekanalenes areal og senteravstand samt plassering i isolasjonssjiktet
- Uttørkingsevne (og strømningshastighet i kanalene) i forhold til lokalt klima
- Varmetap (og strømningshastighet i kanalene) i forhold til lokalt klima
- Risiko for brannspredning ved bruk av plastisolasjon i luftede kompakte tak
- Risiko for vindavblåsning ved ev. vindtrykkforplantning inn i taket
- Plassering og areal av luftespalter i parapet
- Skjerming av luftespalter i parapet mot regn- og snøinndrev
- Type filt i innløpsspalten i parapeten med tanke på luftåpenhet og bestandighet
- Krav til tetthet i dampsperra når det benyttes luftekanaler.

Alle disse momentene ble vurdert og til dels avklart i [1], og det ble skissert løsninger som er rimelig enkle å utføre på byggeplassen.

1.5 Pilotprosjekt – bakgrunn og hensikt

For at løsningen med luftekanaler og økt evne til selvuttørking skal kunne anbefales var det nødvendig i tillegg å gjennomføre et pilotprosjekt med følgende deloppgaver:

- Oppfølging under montasje for å se til at løsningene er rimelig enkle å montere.
- Installere måleinstrumenter og gjennomføre målinger i et virkelig kompakt tak med luftekanaler under naturlige forhold.
- Analysere måleresultatene for å få bekreftet at slike tak tørker ut og for å avklare om beregningsmodellene gir en tilfredsstillende beskrivelse av fuktforløpet i virkelige tak under reelle værforhold.
- Vurdere å videreutvikle gode og enkle detaljløsninger.

2 Taket i pilotprosjektet

2.1 Bygget og byggets plassering

I dette kapitlet er det redegjort for bygget, taket og instrumenteringen benyttet i pilotprosjektet.

På SINTEF Byggforsk sin forsøksstasjon på Voll i Trondheim ble "elementbygget" brukt til et pilotprosjekt for denne måten å bygge tak med luftkanaler og økt selvuttørkende evne. Taket har ytre mål 4,75 m x 11,3 m.

Kartutsnittet i fig 2.1 viser plasseringen av Voll forsøksstasjonen, og viser elementbygget nærmest vegen hvor taket ble benyttet til pilotprosjekt. Selve elementbygget er vist i fig 2.2 før ombygging, og på forsiden av rapporten under ombyggingen av taket.

Taket i elementbygget var fra før bygget med isolerte trelementer uten lufting. Disse takelementene ble åpnet fra undersiden og isolasjonen ble fjernet. Den gamle taktekningen av et 1,2 mm tykt PVC takbelegg ble liggende og dannet på den måten dampsperre i den nye takkonstruksjonen.

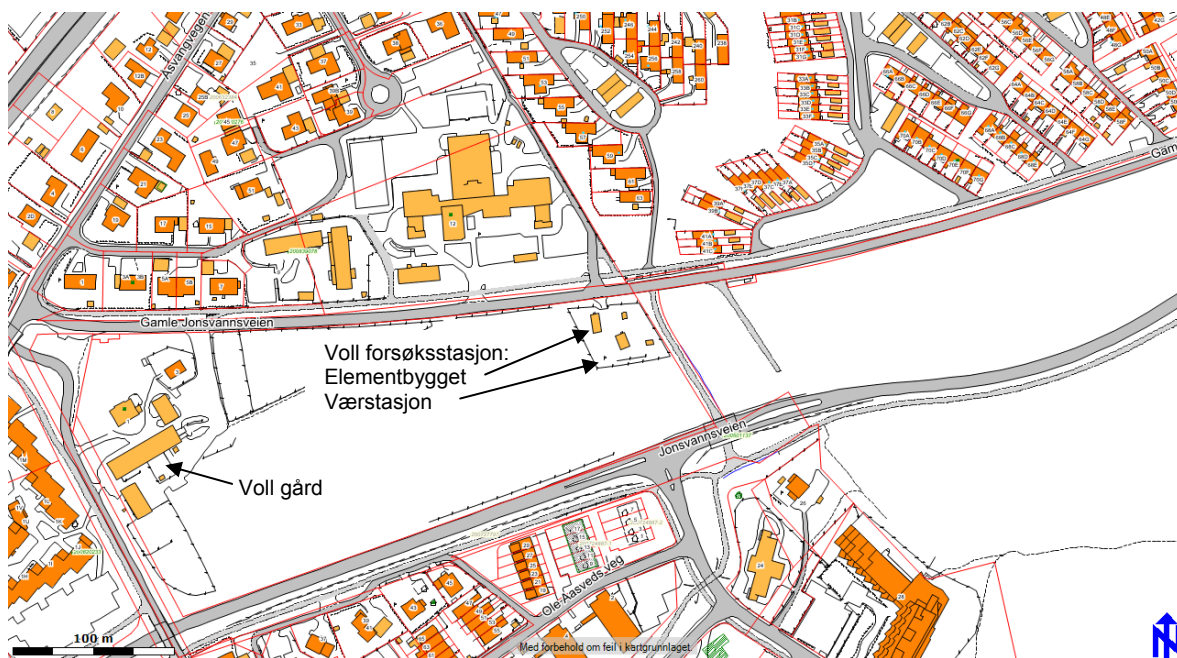


Fig. 2.1
Plassering og orientering av forsøksstasjonen på Voll med forsøksbygget og værstasjon



Fig 2.2
Prøvehuset på Voll før ombygging sett fra sydvest

2.2 Beskrivelse av taket

Figurene under viser hvordan prøvetaket ble bygd opp og litt om hvilke materialer som ble benyttet



Fig 2.3

Parapeten under bygging. Plastfolie er benyttet som fuktsikring. Øverst ser vi åpningen for luftspalten som er plassert på parapetens side mot taket. Med vind mot denne vegg vil det være sug på taksiden av parapeten. Kryssfinerplaten vil danne underlag for takbeleggets oppbrett på parapeten.



Fig 2.4

Isolasjonen som ble benyttet var steinull lagt ut i tre lag. Første laget er en 180 mm tykk vanlig isolasjonsplate. Dernest ble det lagt en 100 mm tykk plate med kanaler (30 mm x 20 mm c/c 200 mm) og øverst en 20 mm topp-plate.



Fig. 2.5

Taket ble tilført fuktighet samtidig med at isolasjonsplatene ble lagt ut. 1,5 liter/m² på første isolasjonslag, 1,6 l/m² på midtre lag og 1.0 l/m² på topplaget. Vannet ble påført manuelt og gjort på en måte som var prøvd ut på forhånd for å få det jevnt fordelt med riktig mengde.



Fig 2.6
Isolasjonslag nr. 2 med kanaler ferdig lagt og klar for tilførsel av vann.



Fig. 2.7
Det var ganske lett å legge ut platene slik at luftkanalene ble gjennomgående uten brudd eller forskyvninger. Likevel ble det noen lokale innsnevringar ved skjøtene mellom isolasjonsplatene som kan begrense luftgjennomstrømningen noe i praksis.

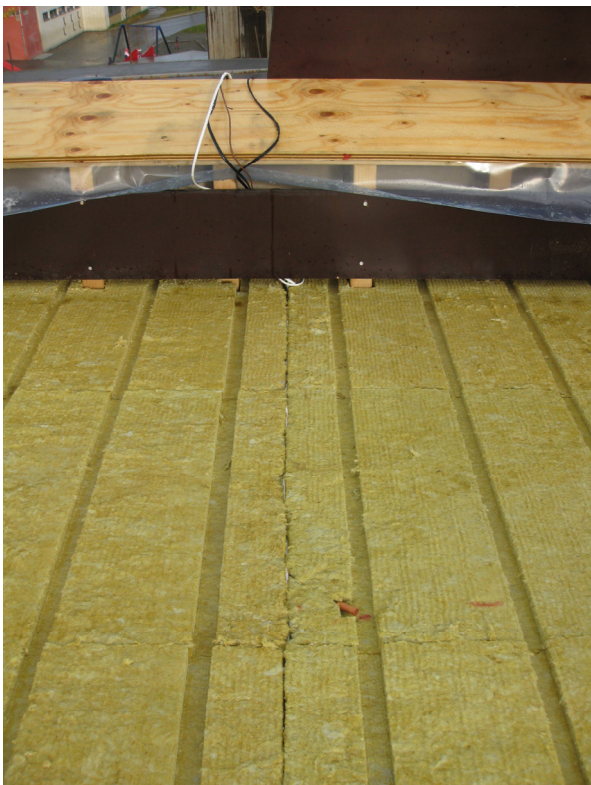


Fig. 2.8
Taket ble instrumentert med måleutstyr for måling av trefuktighet og relativ fuktighet, temperatur og lufttrykk. Instrumentene ble plassert slik at de ikke skulle influere på gjennomstrømningen av luft, men likevel måle representative verdier. Kablene ble ført i isolasjonssjiktet til nærmeste parapet og via parapet inn i prøvehuset.

**Fig 2.9**

Umiddelbart etter at isolasjonen var ferdig lagt og tilført planlagt fuktmengde ble taket teknet med ettlags asfalt takbelegg.

**Fig 2.10**

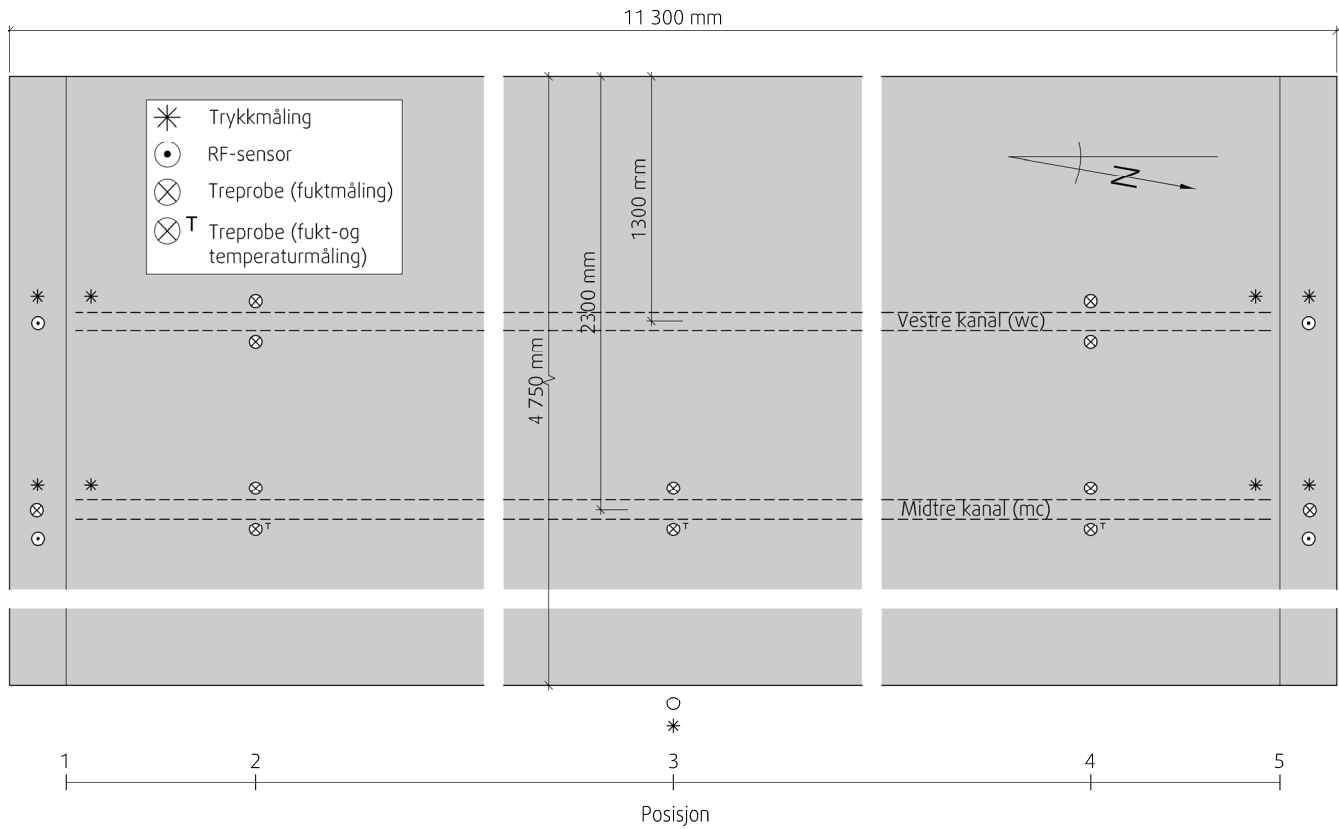
Takflaten ferdig teknet; det som gjenstod var inntekking av oppkantene, ferdigstilling av parapetene og beslagsarbeidene.

Målingene startet ca. 20. oktober 2010 og har løpt kontinuerlig i perioden deretter fram til 31. desember 2011. Et par mindre avbrudd i måleseriene har det vært, men årsak ble sporet og utbedret relativt raskt. Måleserien benyttet til oppsummeringene i dette prosjektet er ca. 14 måneder, og dette er kortere måleperiode enn ønskelig. Målingene fortsetter imidlertid enda en tid for eventuelle senere behandling og oppsummering.

I [1] ble det tidlig gjort et valg om at kanaldimensjon $b \times h = 40 \times 30$ mm og senteravstand 300 mm skulle benyttes i beregningene (blant annet basert på erfaringene i [10]). Dette var ganske fornuftige valg, men både kanalstørrelse og senteravstand kan varieres noe, selv om kanaltverrsnitt og senteravstand påvirker uttørkingspotensialet. I feltstudiet ble det benyttet kanaldimensjon $b \times h = 30 \times 20$ mm og senteravstand $c/c = 200$ mm. Både dimensjoner på kanaltverrsnitt og senteravstand for kanaler ser ut til å være fornuftige og innenfor et rimelig variasjonsområde for kanaltverrsnitt og senteravstand.

2.3 Plassering av måleinstrumenter

Taket ble instrumentert med måleutstyr for måling av trefuktighet og relativ fuktighet, temperatur og lufttrykk. Instrumentene ble plassert slik at de ikke skulle influere på gjennomstrømningen av luft, men like vel måle representative verdier. Kablene ble ført i isolasjonssjiktet til nærmeste parapet og via parapet inn i prøvehuset, se fig 2.8 og fig 2.11, 2.12 og 2.13.



Figur 2.11

Planskisse over taket med både midtre kanal (mc) og vestre kanal (wc) med målesensorer for måling av trykk, RF, temperatur og trefuktighet.

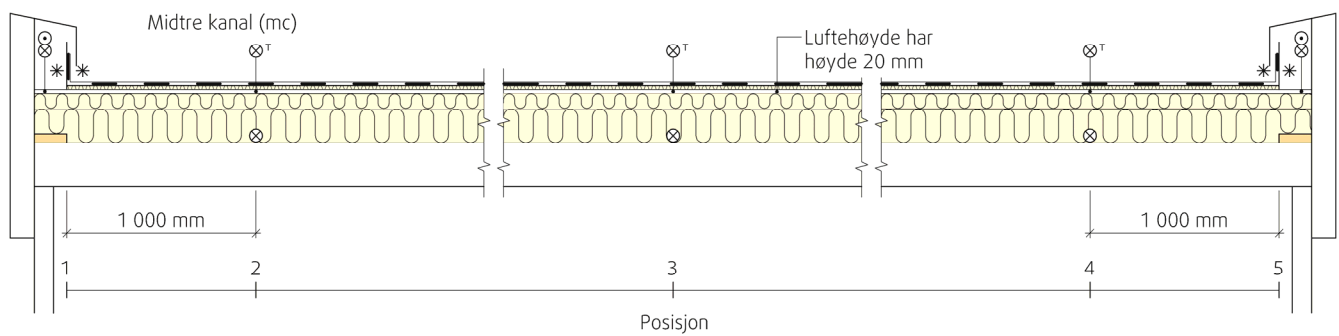


Fig 2.12

Snitt gjennom taket ved midtre kanal med plasseringen av sensorer både oppe i/ved luftekanalen og nede på dampsperra.

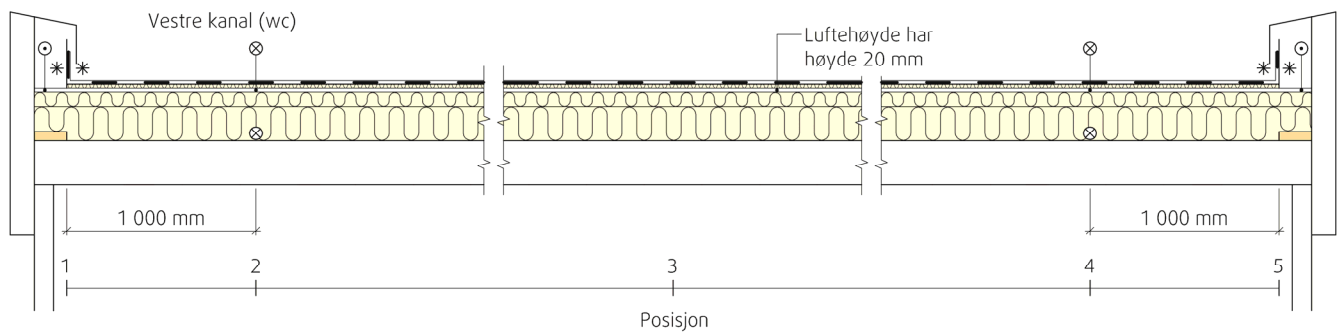


Fig 2.13

Snitt gjennom taket ved vestre kanal med plasseringen av sensorer både oppe i/ved luftekanalen og nede på dampsperra.

3 Resultater og kommentarer

3.1 Resultater

Måleresultater fra feltforsøket på Voll er gitt i form av diagrammer i vedlegget, se oversikt i Tabell 3.1. Måleperioden er på 14 måneder, fra ca. 20. oktober 2010 til 31. desember 2011. Diagram V1-V16 i vedlegg viser verdier som funksjon av tid gjennom måleperioden. Diagram V17-V21 i vedlegg viser resultater som funksjon av vindretning eller vindhastighet. Disse diagrammene viser enten målte verdier eller verdier som er beregnet på grunnlag av målte verdier. Diagram V22-V25 i vedlegg viser beregnede verdier basert på valgte forutsetninger som funksjon av tid. De viktigste diagrammene er også gjengitt i kapittel 3 sammen med vår vurdering av resultatene.

Tabell 3.1

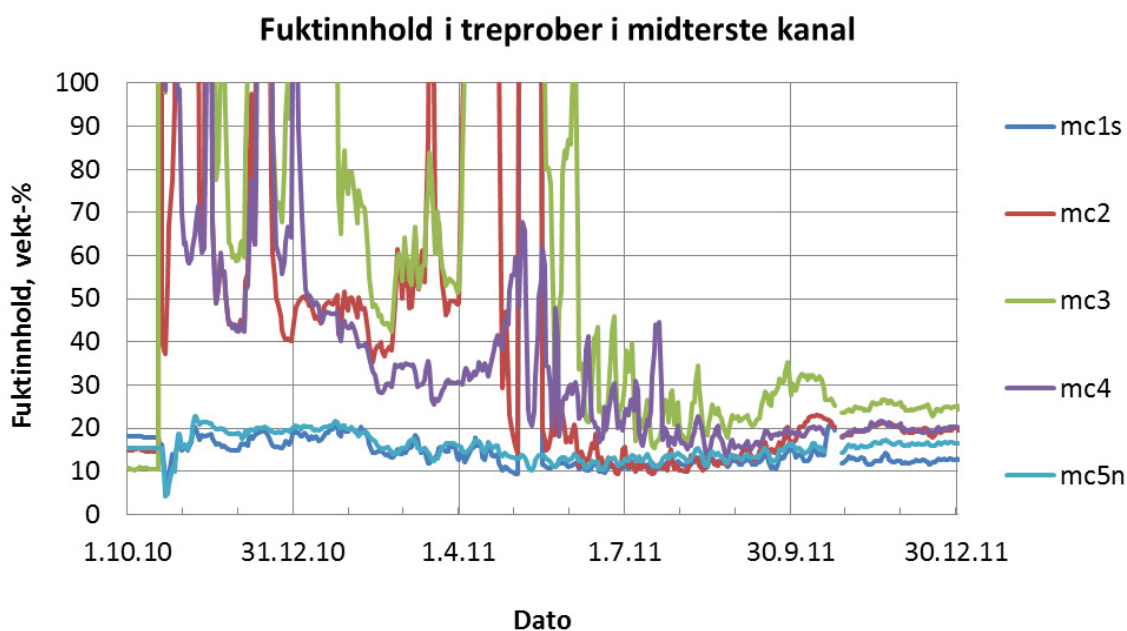
Oversikt over resultatdiagrammer i vedlegg

Diagram nr. i vedlegg	Figur nr. i rapport	Beskrivelse	Side
V1	3.1	Trefuktighet i treprober i midterste	32
V2		Trefuktighet i treprober i vestre kanal	32
V3	3.2	Trefuktighet i treprober ved	33
V4		Trefuktighet i treprober ved	33
V5	3.4	Samlet uttørking pr. luftekanal	34
V6	3.5	Samlet uttørking pr. takareal	34
V7		Luftstrøm i de to instrumenterte	35
V8		Lufthastighet i de to instrumenterte	35
V9	3.3	Fuktstrøm ut av kanalene	36
V10		Lufttemperatur i parapetene	37
V11		Relativ luftfuktighet i parapetene	37
V12	3.8	Vindhastighet 10 m over bakken	38
V13		Vindretning 10 m over bakken	38
V14		Vindtrykk ved åpningen til midtre	39
V15		Vindtrykk ved åpningen til vestre	39
V16	3.9	Vindtrykkforskjell mellom	40
V17		Målt vindhastighet avhengig av	40
V18		Målt trykkfall gjennom kanalene	41
V19		Beregnet lufthastighet i kanalene	41
V20		Beregnete vindtrykkoeffisienter	42
V21		Beregnete lufthastighet i kanalene	42
V22		Beregnet uttørkingskapasitet for tak med samme oppbygning og kanaler	43
V23		Beregnet uttørkingskapasitet for tak med samme oppbygning og kanaler	43
V24		Beregnet uttørkingskapasitet for tak med større kanaltverrsnitt og c/c	44
V25		Beregnet uttørkingskapasitet for tak med større kanaltverrsnitt og c/c avstand enn taket i forsøket og Osloklima	44

3.2 Fuktfordeling i taket gjennom året

Vi ser av figur 3.1 at gjennom hele vinterhalvåret er det et høyt fuktinnhold i treprobene som er montert inne i selve kanalene som ligger øverst i isolasjonssjiktet. Dette skyldes at i et fuktig kompakt tak vil fuktfordelingen endre seg når temperaturfordelingen i taket endrer seg. Fukten flytter seg ved diffusjon fra steder med høyere dampkonsentrasjon til steder med lavere dampkonsentrasjon, fra varm til kald side. Utover høsten når utetemperaturen synker vil fukten flytte seg oppover og samle seg under taktekningen i form av kondens eller rim og is.

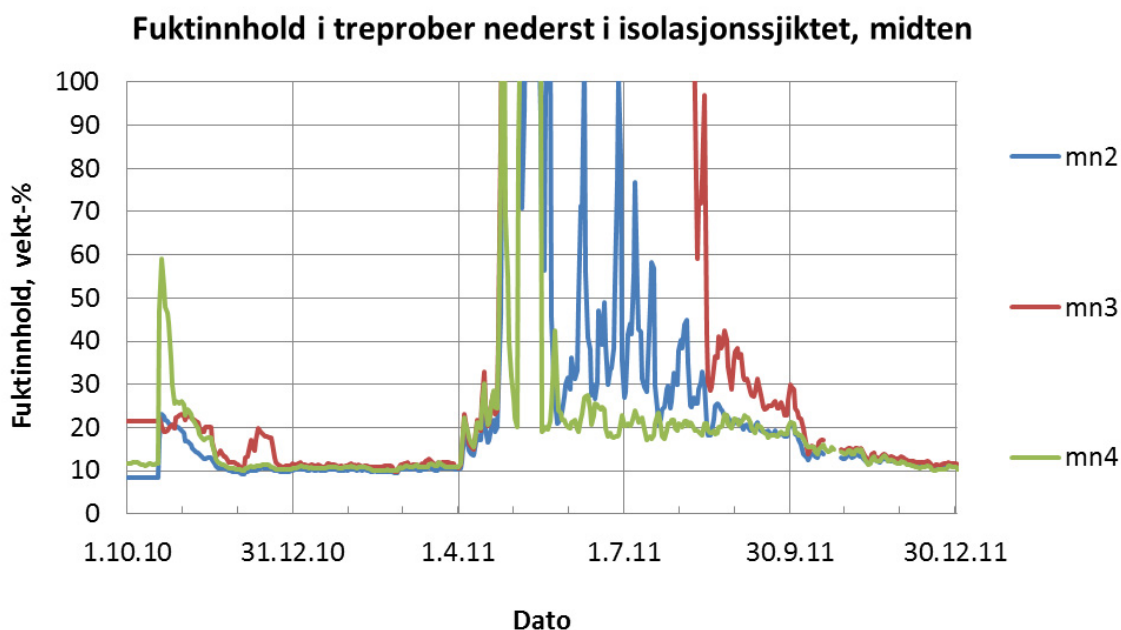
Fuktinnholdet i treprobene som er montert ved innløp/utløp av kanal i parapet viser lavere fuktinnhold. Dette skyldes trolig at disse er mer påvirket av RF i uteluften enn hva treproben lenger inne på taket er. Så lenge det er snø på taket vil temperaturen på tekningen ikke komme over 0 °C, og bortsett fra eventuelt fritt vann som har samlet seg på dampspærren, vil det meste av fukten holde seg ved taktekningen og i den kaldeste delen av isolasjonen. I sommerhalvåret ser vi av figuren at fuktinnholdet i treprobene i luftkanalene er lavt. Dette skyldes at når utetemperaturen øker, og spesielt når taktekningen varmes opp av solstråling, vil fukten pga. forskjeller i dampkonsentrasjon diffundere nedover gjennom isolasjonen mot dampspærren. Utover senhøsten 2011 kan vi likevel se lavere trefukt i treprobene i midtre kanal enn senhøsten 2010. Det viser at det har skjedd en uttørking av taket i denne perioden.



Figur 3.1

Diagram V1 (figur 3.1) viser hvordan fuktinnholdet i de fem treprobene i midterste kanal varierer med tiden. Kurven merket mc1s gjelder treproben ved kanalåpningen i sør og mc5n ved kanalåpningen mot nord, mens de øvrige treprobene er plassert inne i luftkanalen. Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann ved treprobene.

Vi ser av figur 3.2 at fuktinnholdet i treprobene som er montert nederst i isolasjonssjiktet er i motfase til treprobene som er montert i luftkanalene som er plassert høyt i isolasjonssjiktet. Gjennom hele vinterhalvåret er det lavt fuktinnhold i treprobene og dette skyldes at i vinterhalvåret, når det er lav utetemperatur, vil fukten flytte seg oppover. Dette så vi også av figur 3.1. I sommerhalvåret ser vi av figuren at fuktinnholdet i treprobene på dampsperrer er høyt. Dette skyldes at når utetemperaturen øker, og spesielt når taktekningen varmes opp av solstråling, vil fukten diffundere nedover gjennom isolasjonen mot dampsperran på grunn av forskjell i dampkonsentrasjon. Av dette diagrammet alene er det ikke mulig å se noen uttørring av taket i måleperioden.



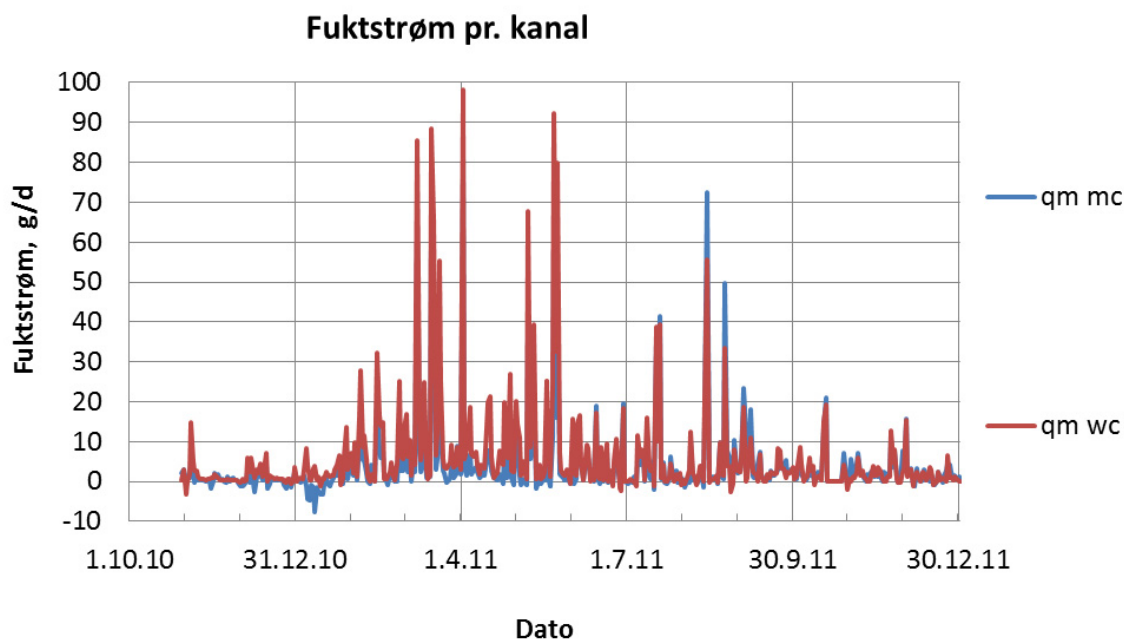
Figur 3.2

Diagram V3 (figur 3.2) viser hvordan fuktinnholdet i de tre treprobene nede på dampsperran, rett ned for den midterste kanalen, varierer med tiden.

Kurven merket mn2 gjelder treproben ved sørenden av taket, mn3 ved midten og mn4 ved nordenden av taket. Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann oppe på dampsperran.

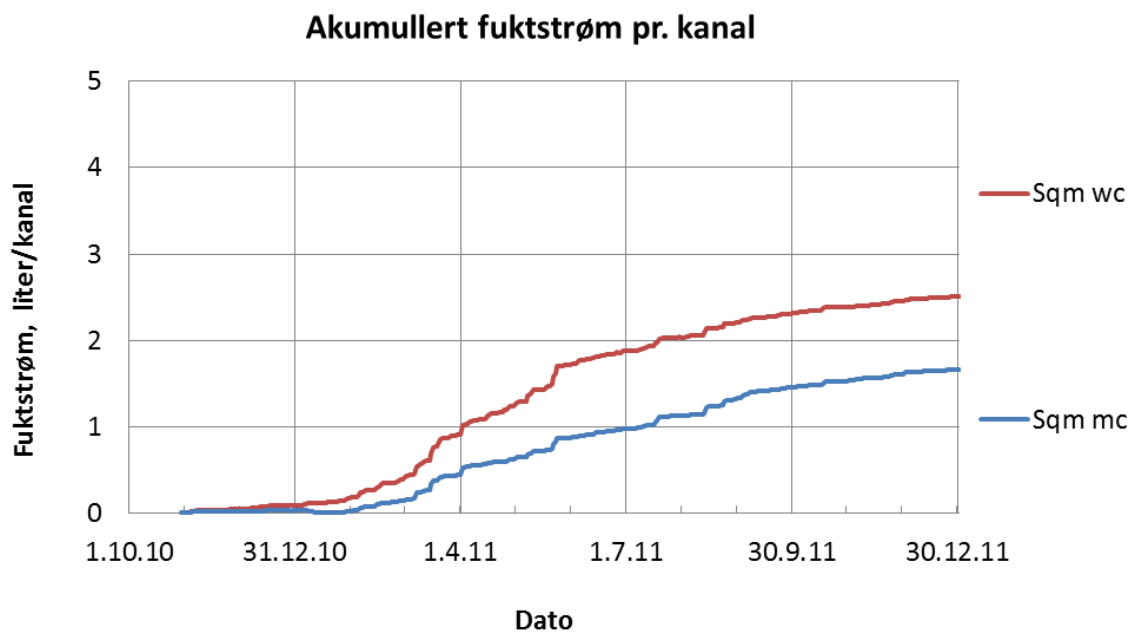
3.3 Uttørking av taket

Absolutt fuktinnhold i luften er beregnet på grunnlag av målt lufttemperatur, figur 3.4, og målt relativ luftfuktighet, RF, diagram V11 i vedlegg, ved kanalåpningene. Det er en entydig sammenheng mellom RF og temperatur i luften og den absolutte fuktmengden i luften. Når en kjenner den absolutte fuktmengden i luften ved inn- og utløp av kanal, og samtidig kjenner luftmengden som går gjennom kanalen, finner en fuktmengden som går inn og ut av taket.



Figur 3.3

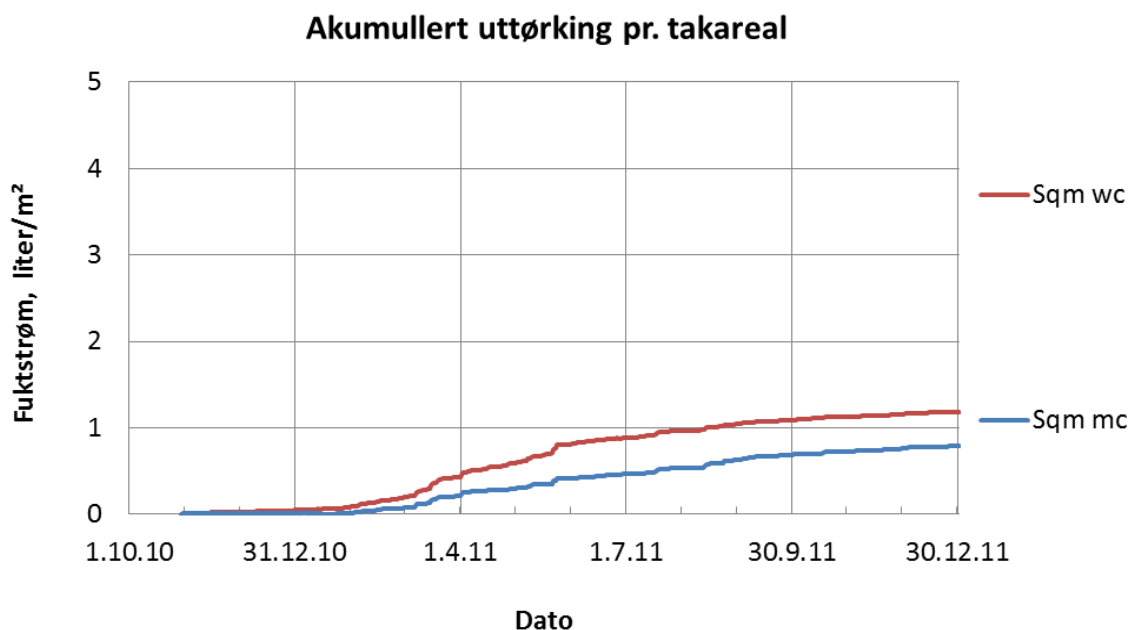
Diagram V9 (figur 3.3) viser beregnet fuktstrøm i de to instrumenterte kanalene. Fuktstrømmen er beregnet på grunnlag av luftstrømmen gjennom kanalen, vist i diagram V7 i Vedlegg, og forskjellen i absolutt fuktinnhold i luften ved de to kanalåpningene.



Figur 3.4

Diagram V5 (figur 3.4) viser samlet uttørking angitt i liter pr. luffekanal. Kurven merket Sqm wc gjelder fukt som er tørket ut med luftstrømmen gjennom vestre kanal og Sqm mc gjelder midtre kanal.

Figur 3.5 viser at taket har tørket ut ca. 1 liter/m² i løpet av et år, fra 20. oktober 2010 til 31. desember 2011. Mye av uttørkingen skjer fra mars til august, og dette skyldes trolig oppvarming av taket fra sola. På dager med soloppvarming av taket kan temperaturen på tekningen bli 30 – 40 °C høyere enn i uteluften [1], og dette vil trolig føre til høy uttørkingshastighet for taket sammenlignet med uttørkingen på en overskyet dag eller om vinteren.



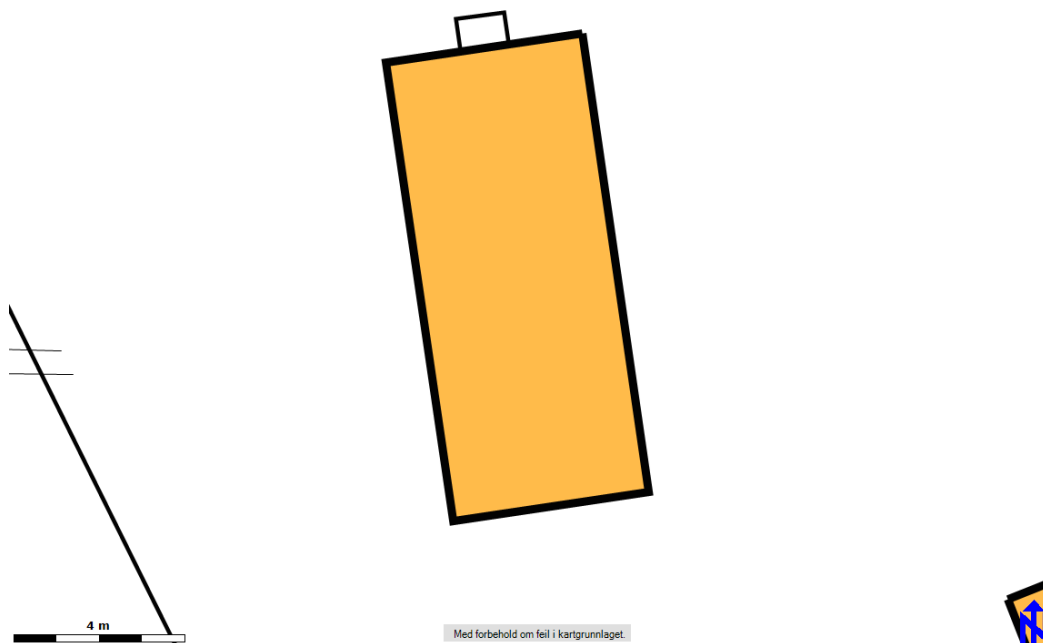
Figur 3.5

Diagram V6 (figur 3.5) viser samlet uttørking angitt i liter pr. kvadratmeter takflate. Kurven merket Sqm wc gjelder fukt som er tørket ut med luftstrømmen gjennom vestre kanal og Sqm mc gjelder midtre kanal. Kurvene viser gjennomsnittverdier og er basert på samme tall som i diagram V5 i vedlegg, men her er uttørkingen dividert på takarealet hver kanal representerer.

Uttørkingen som framkommer av figurene 3.4 og 3.5 på ca. 1 l/m² pr. år er i størrelsesorden halvparten av det uttørkingspotensialet vi hadde funnet tidligere på grunnlag av beregninger utført i [1]. For å finne forklaringene på dette ble det igangsatt ytterligere beregninger for å sammenlikne beregnet uttørkingspotensiale for et tenkt 10 m bredt tak i Oslo med luftekanaler 40 mm x 30 mm c/c 300 mm med målte resultater fra et 11,3 m bredt virkelig tak i Trondheim med luftekanaler 30 mm x 20 mm, c/c 200 mm. Se beregningsresultater vist i diagrammene V22 til V25 i vedlegg og vurderingene gjort i pkt. 4.3.

3.4 Vind på stedet, vindtrykk og luftgjennomstrømning i kanalene

Figur 3.6 viser orienteringen til forsøkshuset. Forsøkshuset er orientert ca. 10 ° nord nord-vest.



Figur 3.6
Orientering av forsøkshuset

Figur 3.7 viser dominerende vindretninger. Dominerende vindretning er fra sør til sørvest og vindrosen viser fordeling av vindretning og vindhastighet. På Voll er det vindstille kun 3 % av tiden, mens det er vindhastigheter mellom 0,3 m/s og 5,2 m/s i ca. 85 – 90 % av tiden. Se flere detaljer om vindhastigheten i måleperioden i figur V12 i vedlegg. Vindretningen er fra syd til vest-sydvest i ca. 65 – 70 % av tiden og det gir en vinkel fra 0° til 37° med prøvetakets og luftkanalenes retning. Se flere detaljer om vindretningen i diagram V13 i vedlegg.

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >10.2
- 7.8-10.2
- 5.3-7.7
- 2.8-5.2
- 0.3-2.7

Stille (%)

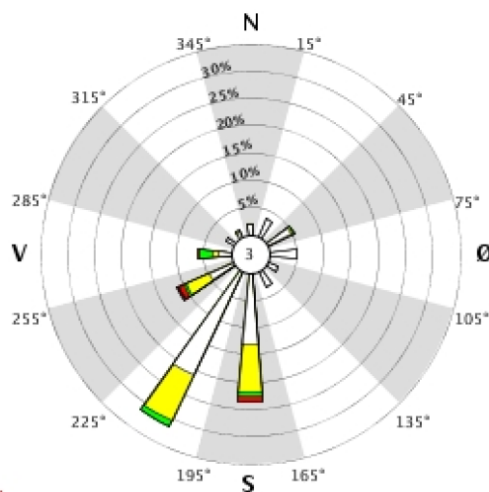
3

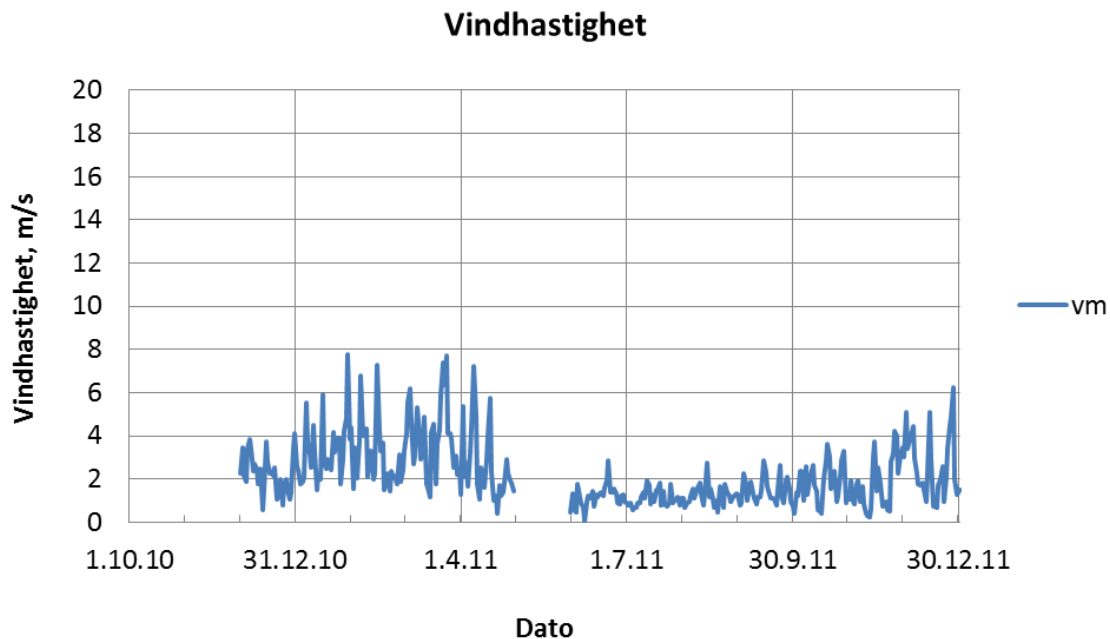


År: 2011 - 2011
jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov
Tidspunkt: 0 (NMT)

Figur 3.7
Vindrose

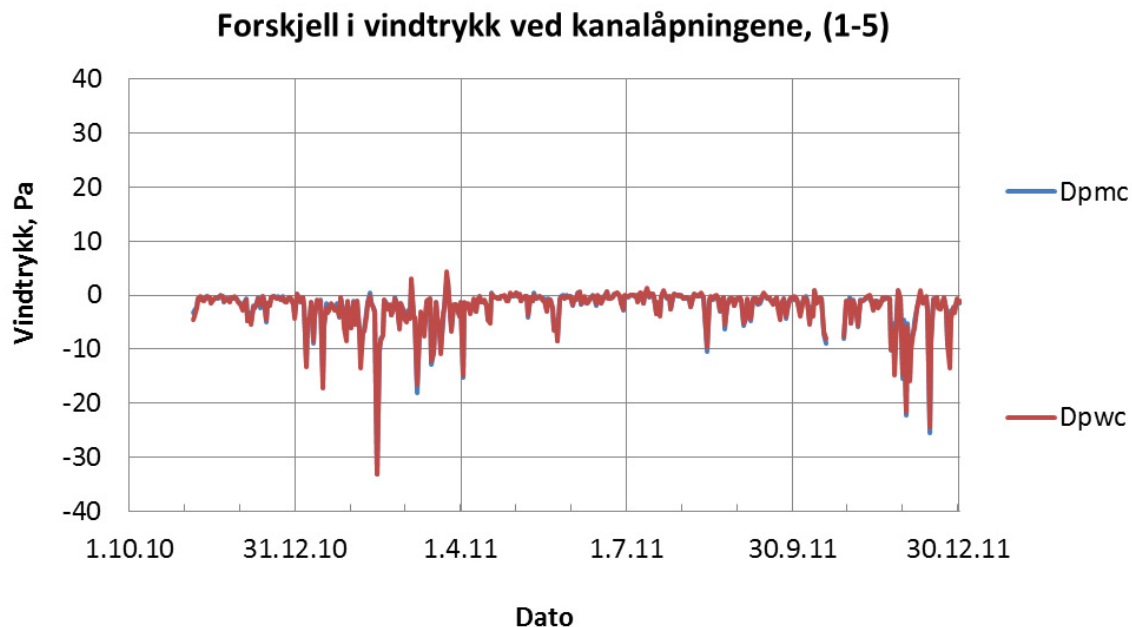
68860 TRONDHEIM - VOLL





Figur 3.8
Diagram V12 (figur 3.8) viser målt vindhastighet ved forsøkshuset 10 m over bakkenivå

Figur V14 i vedlegg viser vindtrykk ved begge åpningene til midtre kanal og diagram V15 i vedlegg viser tilsvarende vindtrykk ved begge åpninger til vestre kanal. Av disse kan resulterende vindtrykkforskjell utledes, se figur 3.9.



Figur 3.9
Diagram V16 (figur 3.9) viser resulterende vindtrykkforskjell over midtre og vestre luftekanal. Vi ser at vindtrykkforskjellen er nesten identisk over de to kanalene. Resulterende vindtrykkforskjell er drivkraften for luftgjennomstrømning i kanalene.

4 Vurderinger

4.1 Vindhastigheter og vindretninger

Det er ved forsøkshuset vindhastigheter mellom 0,3 m/s og 5,2 m/s i ca. 85 – 90 % av tiden, og det er vindstille bare i 3 % av tiden. I beregningene i [1] er det brukt verdier fra Oslo som har midlere vindhastighet på 2 m/s. Den målte vindhastigheten ved forsøkshuset i pilotprosjektet, se figur V12 i vedlegg, og vindhastigheter som er benyttet i beregningene samsvarer godt med hverandre.

Det er forventet at trykkforskjellen blir størst når vindretningen er parallell med kanalretningen. Kanalretningen på forsøkshuset er parallell med byggets lengderetning. Forsøkshuset er orientert ca. 10 ° nord nord-vest, og dominerende vindretning er sør sør-vest. Dominerende vindretning avviker ca. 30°–35° fra kanalretningen, se vindrose i fig 3.2, men det igjen passer ganske godt overens med antakelsen om midlere resulterende trykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene i luftekanalene benyttet i beregningene i [1].

4.2 Resulterende vindtrykkforskjell og luftgjennomstrømning i kanalene

I et flatt lufttak er det den resulterende vindtrykkforskjellen mellom luftinntak og luftutløp som er drivkraften for luftgjennomstrømningen. Strømningsmotstanden i et tak med innlagte luftkanaler i isolasjonen vil være summen av friksjonsmotstanden ved strømmingen i kanalene og summen av singulærtap i innløp, utløp samt ved eventuelle retnings- og tverrsnittsendringer. Hvis vi forutsetter at luftkanalene på taket ikke har retnings- eller tverrsnittsendringer vil de singulære tapene være bestemt av størrelse og utforming av inn- og utløpsåpningene på parapeten samt inn- og utløpsåpningene til luftkanalene i isolasjonen på taket. Resulterende vindtrykkforskjell kan for forsøkshuset være mindre enn $\Delta p = -0,5 p$, som er brukt i beregningene i [1], der p er vindtrykket på byggestedet.

Beregningene i [1] viste at for målt midlere vindhastighet på mellom 0 og 4 m/s ville midlere lufthastighet i kanalene være mellom 0 og 0,3 m/s. Også målingene fra forsøkshuset i pilotprosjektet viser resultater i samme størrelsesorden. Fig. V8 i vedlegg viser en lufthastighet gjennom luftkanalene i hovedsak mellom 0–0,3 m/s og med maksimalverdier dager med sterk vind opp i 0,4–0,8 m/s.

Figur V8 i vedlegg viser beregnet lufthastighet i de to instrumenterte kanalene på grunnlag av målt lufttrykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene. Av diagrammet hvor luftstrømning fra sør mot nord er definert som positiv, ser vi at lufthastighetene stort sett har vært negative og dermed at løftstrømmen i kanalene stort sett har gått fra nord mot sør. Av figur 3.9 framgår det at målt vindtrykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene i all hovedsak er negativ, dvs. at det er et undertrykk i luftkanalene. Kun i noen begrensede perioder er det trykk i kanalene, og da i et så lite omfang at det ikke vurderes som noe problem sett i forhold til ev. risiko for vindavblåsing.

4.3 Uttørkingsevne

Det er gjort beregninger av samlet uttørkingskapasitet for fire ulike tilfeller; tak med samme oppbygning og kanaler som forsøkstaket på Voll for både Trondheims klima og Oslo klima, og tak med dobbelt så stort kanalverrsnitt og litt større c/c avstand sammenlignet med forsøkstaket på Voll for både Trondheims klima og Oslo klima. Se figur V22 – V25 i vedlegg for resultater av beregningene.

Det er i beregningen lagt til grunn månedsmiddelverdier for Oslo og Trondheim vedrørende utetemperatur, relativ luftfuktighet (RF) og vindhastighet, samt valgt RF = 90 % i luften når den strømmer ut av taket. Uttørkingskapasitet er en teoretisk verdi beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i luften ved utløp og absolutt fuktinnhold i luften ved innløp før luften strømmer inn i taket.

Når disse forutsetningene benyttes viser beregningene at det etter et år er tørket ut:

- 1) ca. 0,2 liter pr. m² for et tak med samme oppbygning og kanaler som forsøktaket på Voll (30x20 mm og c/c 200 mm), og med Trondheims klima (se V22)
- 2) ca. 0,4 liter pr. m² for tak med samme oppbygning og kanaler som forsøktaket på Voll (30x20 mm og c/c 200 mm), og med Oslo klima (se V23)
- 3) ca. 1 liter pr. m² for et tak med dobbelt så stort kanaltverrsnitt og litt større c/c avstand (40x30 mm og c/c 300 mm), og med Trondheims klima, (se V24) og
- 4) ca. 1,3 liter pr. m² for et tak med dobbelt så stort kanaltverrsnitt og litt større c/c avstand (40x30 mm og c/c 300 mm), og med Oslo klima (se V25).

Målt uttørking for taket er i pilotprosjektet ca. 1 liter pr. m², mot 0,2 liter pr. m² som beregnet i 1). Uttørkingen som er målt for taket i pilotprosjektet er altså betydelig høyere enn beregnet uttørkingspotensial for det tenkte taket med samme oppbygning og kanaler og samme klima. Dette kan skyldes flere forhold. Fuktforhold og fuktvandring i tak er en dynamisk og komplisert prosess som vil variere i takt med fukt-, temperatur- og vindtrykkforhold rundt taket. I beregningene er det gjort en del forenklinger som kan føre til at det blir forskjell mellom målt uttørking og beregnet uttørking. Vindtrykkforskjellen vil være bestemt av vindhastigheten og ulik formfaktor ved inn- og utløpsåpningene. Det er i beregningene benyttet en forskjell på 0,5 mellom vindtrykkfaktorene ved inn- og utløp. Vindtrykkfaktoren kan ha vært noe høyere i pilotprosjektet enn i beregningene, og derigjennom være med på å forklare høyere uttørkingsevne for forsøks huset sammenlignet med beregnet uttørkingsevne.

Kanaldimensjonene som er brukt i to av beregningstilfellene er 40 mm x 30 mm. I pilotprosjektet er kanaldimensjonene 30 mm x 20 mm, som i areal er halvparten av kanaldimensjonen benyttet i beregningene. Lavere kanaldimensjon vil føre til mindre total luftmengde som strømmer gjennom kanalen og derved også lavere uttørking, og er med på å forklare noe av forskjellen mellom beregnet uttørking og målt uttørking for de to beregningstilfellene med mindre kanaldimensjon. Det er noen sprang i kanalene ved skjøt i isolasjonsplate (se figur 2.7) som kan bidra til større strømningsmotstand i luftkanalene, men dette ser ikke ut til å ha bidratt til noe lavere luftgjennomstrømning og uttørking.

I beregningene er det forutsatt at taktekningen har samme temperatur som uteluften. I virkeligheten blir taket mye varmere når sola skinner på taket, men denne temperaturøkningen er neglisjert i beregningene. Dette forholdet er trolig det som har mest betydning for at uttørkingen som er målt for taket i pilotprosjektet er høyere enn beregnet uttørkingspotensial for et tak med samme oppbygning og som står i samme klima. Denne effekten ser ut til å ha større betydning for tak plassert i Oslo klima enn i Trondheims klima.

4.4 Parapet utforming

Ved å lokalisere luftespaltene til parapetenes side mot takflaten kan en i prinsippet få effektiv luftgjennomstrømning i et system av kanaler i isolasjonen i taket og samtidig redusere faren for avblåsning av tekningen ettersom det vil bli et sug under tekningen. På innsiden av parapeten mot taket vil det være et sug. Av figur V16 i vedlegget framgår det at målt vindtrykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene i all hovedsak er negativ, dvs. at det er et undertrykk i luftkanalene. Kun i noen begrensede perioder er det trykk i kanalene, og da i et så lite omfang at det ikke vurderes som noe problem sett i forhold til ev. risiko for vindavblåsning.

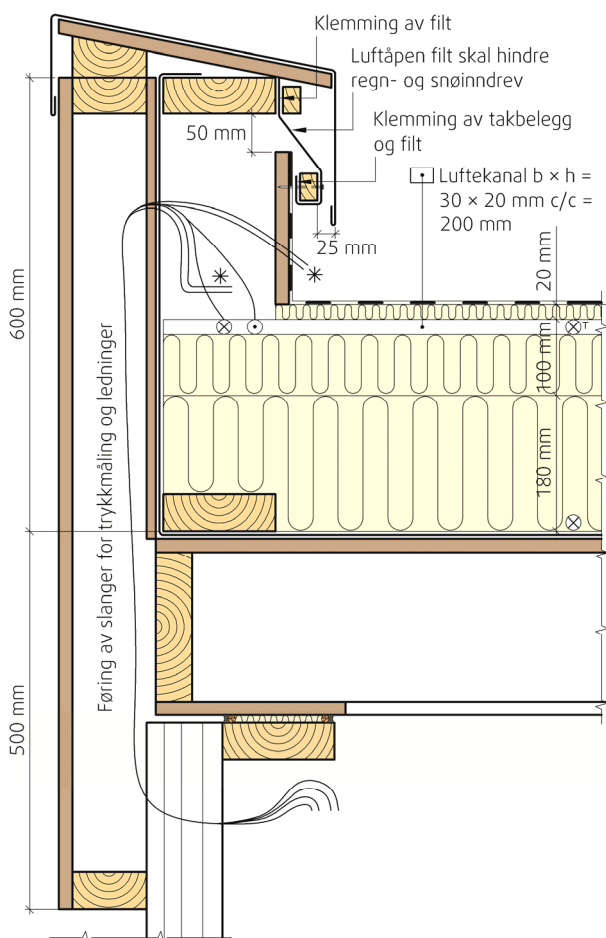


Fig 4.1

Detalj av parapeten slik den ble bygget på forsøkshuset på Voll med sensorene inntegnet.

Selve åpningen i parapeten mot takflaten ble i pilotprosjektet kledd med en filt for å hindre regn- og snøinndrev. Filten monteres og klemmes mot parapetkonstruksjonen både over og under åpningen med klelekt. Det finnes et stort utvalg av filter, mest aktuelt er nok en middels kraftig filt av polyester- eller polypropylen på ca. 100 – 150 g/m². Det bør velges en filt som har dokumentert bestandighet for slik bruk, det vil si for utendørs temperaturer, fukt og for UV-stråling fra sollyset.

I pilotprosjektet ble det benyttet en Filtext M10 filt av polypropylen (70 %) og polyetylen (30 %) som ikke hadde dokumentert bestandighet, men med dokumentert luftgjennomgangstall på 103 m³/m²hPa.

Parapetløsningen fungerte bra i praksis, men ble i pilotprosjektet ikke gjort til gjenstand for spesielle vurderinger. Med god utforming av beslag som gir god skjerming mot regn- og snøinndrev kan det tenkes filten ikke er påkrevd. Byggforsk sin vurdering var at montasjen av filten ikke var problematisk og at den gir god ekstra sikkerhet mot regn- og snøinndrev.

Taktekningen av asfalt takbelegg eller takfolie må gis en god oppbrett mot parapeten, minimum 150 mm i vanntett utførelse fra takflaten og opp til innfestingspunktet med klemlist.

Ytterveggen og parapeten skal som tidligere fortsatt være utført med dampåpne vindsperrematerialer og med en luftet kledning på utsiden for å gi veggen nødvendig uttørkingsevne. For å kunne sikre denne uttørkingsevnen må luftespalten bak fasadekledningen være ført videre opp på og over parapeten under parapetbeslaget til felles luftespalte mot takets innside.

4.5 Luftgjennomstrømning og energitap

Det ble i dette pilotprosjektet ikke utført målinger omfattende nok til å kunne gjøre vurderinger om energitapet på grunn av luftgjennomstrømningen gjennom kanalene. For dette henviser vi til kapittel 3.6 i [1]. Det gjøres oppmerksom på at kanalstørrelse og senteravstand mellom kanalene var forskjellig, og det vil påvirke resultatet.

4.6 Luftgjennomstrømning og risiko for brannspredning

Det ble i dette pilotprosjektet ikke utført spesielle vurderinger om luftgjennomstrømningen gjennom kanalene og risiko for brannspredning. For dette henviser vi til kapittel 5 i [1].

5 Foreløpige anbefalinger

5.1 Bruksområde

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring med små luftekanaler i isolasjonssjiktet kan benyttes på flate og svakt skrånende tak over oppvarmede rom. Konstruksjonstypen er spesielt utviklet for å gi taket økt selvuttørrende evne.

Når taket er luftet via åpninger i parapetene, som i dette tilfellet, vil ikke tekningen bidra til takets lufttetthet. Lufttettheten til taket må da normalt sikres ved hjelp av dampsperrsjiktet.

Dampsperran må være utført med lufttette skjøter og lufttette avslutninger mot parapet og tilstøtende bygningsdeler. Skjøter som er sveiset, klebet eller klemt med klemlekt vil normalt ha tilstrekkelig lufttetthet. Løse omleggsskjøter klemt med f.eks. vekten av overliggende isolasjon vil etter vår vurdering ikke være sikkert nok og må unngås for å minimere risikoen for luftlekkasjer.

Kompakte tak må imidlertid fortsatt bygges av materialer som tåler fukt. Selv om en forbedrer uttørringsevnen, må en regne med høyt fuktinnhold i perioder, i alle fall en tid etter at taket er lukket.

Der det er usikkerhet om parapeten har fått en lufttett utførelse, bør man vurdere nøye om konstruksjon med luftekanaler i isolasjonssjiktet bør benyttes pga. av faren for avblåsing av takbelegget. Dette er kanskje mest typisk for stålbygg der det ikke er separat vindsperre. I slike konstruksjoner kan det være vanskelig å få konstruksjonen tett, og lufttrykk mot fasaden kan forplante seg gjennom parapeten og skape et overtrykk under tekningen.

5.2 Løsninger

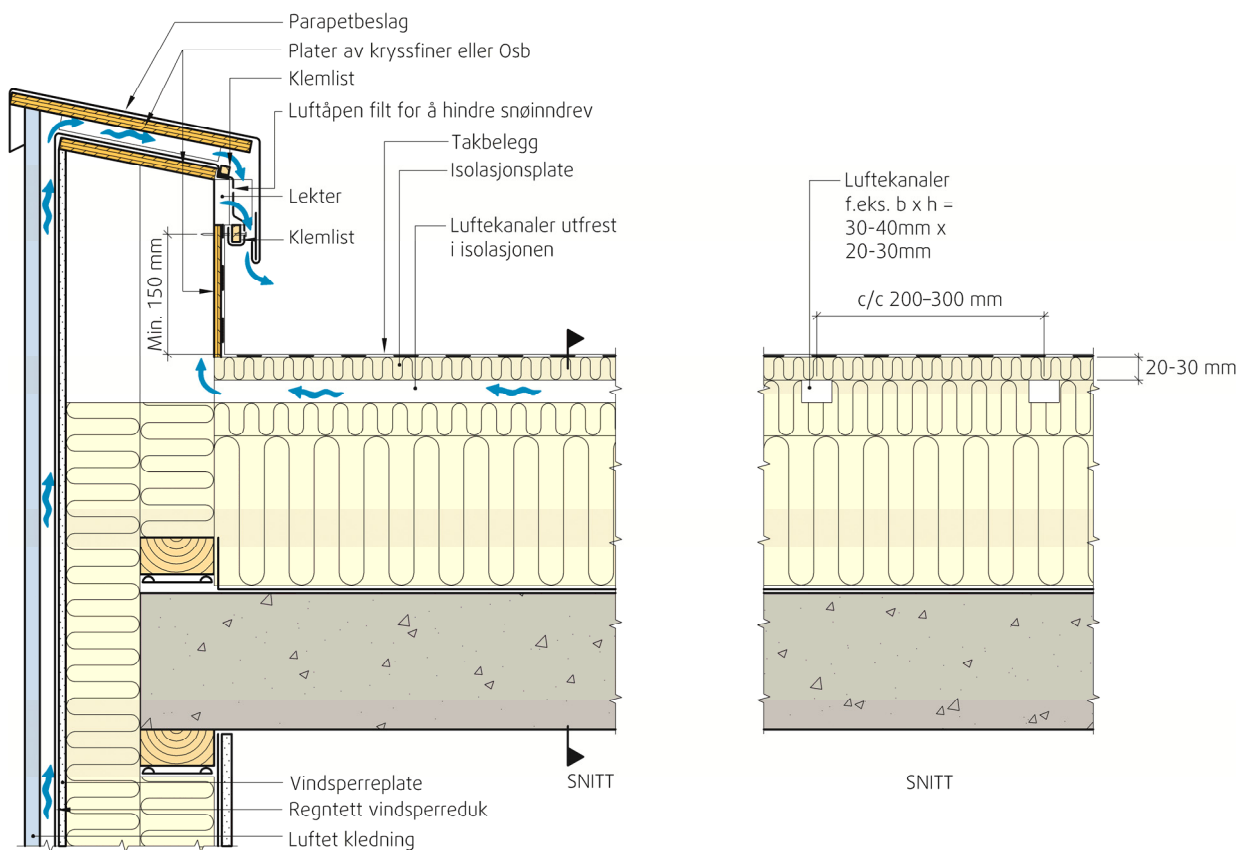
Vi har i dette prosjektet sett for oss at kanalene fortrinnsvis legges på tvers av byggets lengderetning slik at luftekanalene ikke blir for lange og vanskelig å få gjennomløpende. Det kan likevel være en fordel å legge kanalene i byggets lengderetning der framtreddende vindretning vil gjøre det fordelaktig. I beregningene i [1] er det benyttet bredde på taket (det samme som lengden av luftekanalene) på 10 m, og i pilotprosjektet på Voll er lengden på kanalene 11,3 m. Det er i samme størrelsesorden som for aktuelle mindre bygg som for eksempel eneboliger og små boligblokker. Beregningene viser at i disse tilfellene har taket en så god selvuttørringsevne at lengden av luftekanalene kan økes, for eksempel opp til 15 – 20 m. Vi har imidlertid i dette prosjektet ikke vurdert hva som bør være maksimal lengde på luftekanalene i et kompakt tak med innlagte luftekanaler i isolasjonssjiktet. Dette vil også påvirkes av omfanget av konstruksjonselementer som for eksempel overlyskupler eller takoppbygg som reduserer antallet gjennomløpende luftekanaler. Der det er overlyskupler eller liknende kan forbistrømning av luft sikres ved at det tilskjæres tversgående kanaler i isolasjonen langs de to sidene der luftekanalene støter mot overlyskuppelen, ev. at de isolasjonsplatene det er snakk om legges med en spalte på ca. 5 mm fra kuppelen.

5.2.1 Utførelse av Parapet

Konstruksjonens oppbygging, både tak og parapet, er vist i fig. 2.11–2.13 og 4.1. Det er mulig å lage parapeten med litt annen detaljering enn vist i disse figurene, men parapetens hovedutførelse anbefales benyttet omtrent som vist:

- Luftespalten plasseres på den siden av parapeten som vender inn mot taket, noe som bidrar til at det blir skapt et sug under tekningen.
- Takbelegget må føres opp minimum 150 mm på parapeten og ha vanntett utførelse helt opp.
- Luftespalten i parapeten må minimum ha en høyde på 20 mm, men en høyde på 50 mm er anbefalt.
- Luftespalten anbefales kledd med en luftåpen filt for å stanse regn- og snøinndrev.

- Luftespalten og overgangen til takbelegget må være skjermet med et beslag som i tillegg er ført opp på og over parapeten.



Figur 5.1

Utforming av parapet med lufteåpning til luftekanalene i takisolasjonen. Lufteåpningen er plassert på taksiden av parapeten for å hindre trykkoppbygging i luftekanalene i isolasjonssjiktet som kan forårsake vindavblåsing av takbelegget. Luftespalten bak fasadekledningen anbefales ført under parapetbeslaget til felles luftespalte mot takets innside

5.2.2 Selvuttørking sett i forhold til energitap. Valg av lufttekanalenes størrelse og senteravstand

Jo større lufttekanalene er og jo mindre avstanden mellom dem er, jo større blir selvuttørkingen, - men det blir også varmetapet. Dette er altså valg som må sees opp mot hverandre.

SINTEF Byggforsks anbefaling er:

- Kanaldybde: 20 – 30 mm
- Kanalbredde: 30 – 40 mm
- Senteravstand: 200 – 300 mm
- Isolasjonsplatetykkelse over lufttekanalene: 20 – 30 mm.

Med den geometri som er valgt i beregningseksempelene i [1], bredde x dybde = 40 x 30 mm, og senteravstand 300 mm og Oslo klima, er teoretisk beregnet selvuttørkingen 2 l/m² pr år eller ca. 50 % av det man får i et luftet isolert skråtak (gitt dampåpent undertak med $s_d \leq 0,5m$), og beregnet økning i varmetapet vil være i størrelsesorden 1 %. I Trondheims klima med lufttekanaler 30 x 20 mm og senteravstand 200 mm er målt selvuttørking ca. 1 l/m² pr år.

Parapeten må ha luftespalte for inn- og utstrømning av luft, og den må være godt skjermet mot regn- og snøinndrev. Skjermingen skjer i to trinn, først en noe strupet innstrømningsåpning nederst til et lite utfellingskammer før luften strømmer inn gjennom en filtkledd litt større åpning inn til selve parapeten. I beregningene er det antatt følgende spalter:

- Strupet innstrømningsåpning: ca. 20 mm
- Filtkledd åpning inn i selve parapeten: ca. 50 mm.

5.2.3 Valg av isolasjonstype og brannmessige forhold

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørking introduserer lufttekanaler og luftgjennomstrømning i taket. På grunn av oksygentilførselen dette gir må noen spesielle hensyn tas for å redusere risikoen for spredning av brann og røyk til et akseptabelt nivå:

- For tak isolert med *ubrennbar isolasjon i hele tykkelsen*, vil lufttekanaler i isolasjonssjiktet ikke endre på forutsetningene om ikke å bidra til økt risiko for spredning av brann og røyk.
- Tak med *brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbar isolasjon* vil kunne benyttes omtrent på samme måte som på tradisjonelle kompakte tak. Eneste forskjell er at det må benyttes ubrennbar isolasjon i en tykkelse på minimum 30 mm under lufttekanalene samt som isolasjon rundt og over lufttekanalene. Forøvrig må retningslinjene for nødvendig tykkelse av tildekkingen, samt at krav om utskifting til ubrennbar isolasjon ved gjennomføringer, tilslutninger etc. følges på samme måte som for vanlige kompakte tak isolert med brennbar isolasjon og tildekket med ubrennbar isolasjon.
- Tak isolert med *brennbar isolasjon oppdelt i delarealer på høyst 400 m²* og med lufttekanaler i den brennbare isolasjonen frarådes.

Se mer om dette i kap. 5 og i sammendraget i [1].

5.2.4 Fall og avrenning

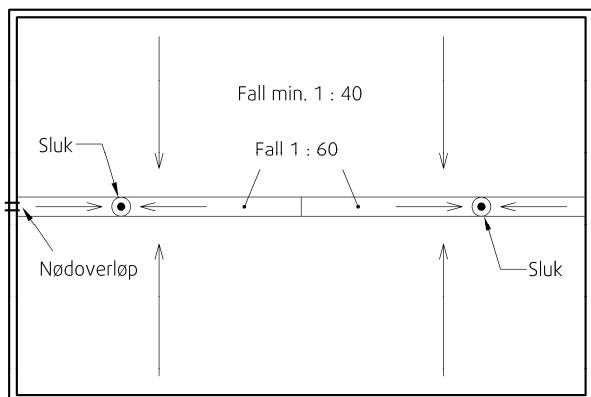
Varmegjennomgangen fra underliggende oppvarmede rom vil smelte snø på taket. Smeltevannet må ledes bort fra taket på en forsvarlig måte, og nedløpet må ikke ha så lav temperatur at vannet kan fryse. Det vil si at man må lage innvendige nedløp og gjerne plassere sluket i en lokal forsenkning. God avrenning fra takflaten krever:

- fall på min. 1: 40 på ferdig takflate. Nedbøyning på grunn av egenvekt og belastning på taket må ikke gi mindre fall enn de angitte verdiene,
- fall i renner og i kilrenner på min. 1: 60,
- isfrie renner og sluk, for eksempel ved å lage lokale forsenkninger som gir større varmegjennomgang og snøsmelting,

- gjennomtenkt slukplassering og -antall. Sluk legges i lavpunktene, aldri ved søyler, bjelker eller lignende med mindre forspenning av elementer i takkonstruksjonen gir varig oppbøyning,
- nødoverløp,
- gjennomføringer plassert utenfor lavpunkter og kilerenner, helst i høybrekkene.

Eventuell oppbygging av fall ved hjelp av skråskårne isolasjonsplater bør gjøres før isolasjonsplatene med utfreste kanaler legges. Hvis fallet bygges opp på oversiden av platene med kanaler vil varmetapet på grunn av luftgjennomstrømming i kanalene øke. Det skyldes at lufta vil bli mer oppvarmet når kanalene ligger lenger nede i en varmere del av isolasjonen. For øvrig anbefales det at isolasjonen legges ut med forskjøvne skjøter slik at varmetapet reduseres så mye som mulig.

Fall og slukplassering kan utformes på flere måter, se fig. 5.1 og [6]. Når fallet er bygd opp med skråskårne isolasjonsplater plassert under isolasjonsplatene med luftkanalene, kan fallet enten bygges opp som tosidig fall mot renne eller som firesidig fall mot sluk. Hvis det er valgt en løsning med falloppbygging på taket med tosidig fall mot nedsenket renne, anbefales det å velge retning for rennen(e) som sammenfaller med luftkanalenes retning slik at luftkanalene blir gjennomløpende.

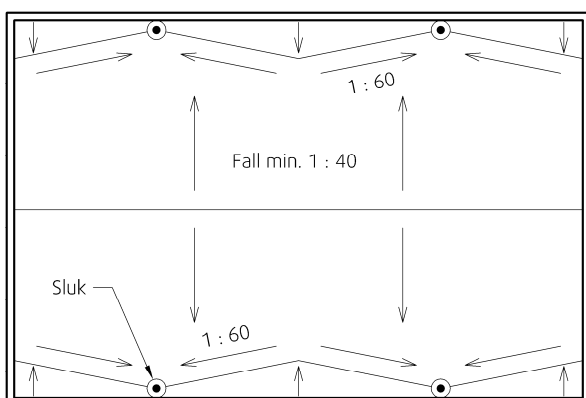


Plan

Fig. 5.1 a

Fall mot nedsenket renne inne på taket eller for eksempel mot sluk plassert nær parapeten ved langsiden. Hovedfallet kan være ned til 1: 40. Fallet i rennebunnen bør være på minst 1: 60.

Planlegg en løsning der det er enkelt å føre luftkanalene ubrutt fra en side av taket til den motstående.



Plan

Fig. 5.1 b

Fall mot sluk plassert nær parapeten ved langsiden.

Hovedfallet kan være ned til 1: 40. Fallet i rennebunnen bør være på minst 1: 60.

Planlegg en løsning der det er enkelt å føre luftkanalene ubrutt fra en side av taket til den motstående.

6 Oppsummering

På SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim ble det i perioden sommeren 2010 til årsskiftet 2011/2012, utført et pilotprosjekt om "Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet" for å få til økt selvuttørkende evne. Et teoretisk studium var utført tidligere, [1], og pilotprosjektet tok utgangspunkt i de løsninger som der var vurdert. Under ombyggingen og klargjøringen av taket i august – oktober ble det av praktiske grunner valgt noen mindre forskjeller fra [1]. De viktigste var:

- | | |
|---|---|
| 1) Kanaldimensjon $b \times h = 30 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ | (i [1]: $b \times h = 40 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$) |
| 2) Senteravstand mellom kanalene: 200 mm | (i [1]: $c/c = 300 \text{ mm}$) |
| 3) Faktisk lengde på taket og luftkanalene: $L = 11,3 \text{ m}$ | (i [1]: $L = 10,0 \text{ m}$) |
| 4) Fuktmengde i taket ved start: $q = 4,1 \text{ l/m}^3$ | (i [1]: $q = 5,0 \text{ l/m}^3$) |

Disse fire endringene ser ut til å være viktige forklaringer på at uttørkingen på 14 måneder i forsøkshuset på Voll i Trondheim er omtrent halvparten av det potensialet som ble beregnet i [1]. I tillegg kommer det faktum at Oslo klimaet er litt tørrere og varmere enn Trondheims klimaet, og det gir et noe større uttørkingspotensiale enn for et tilsvarende tak lokalisert i Trondheim.

Det er gjort supplerende beregninger av samlet uttørkingkapasitet for fire ulike tilfeller; tak med samme oppbygning og kanaler som forsøktaket på Voll for både Trondheims klima og Oslo klima, og tak med dobbelt så stort kanalvernsnitt og litt større senteravstand sammenlignet med forsøktaket på Voll for både Trondheims-klima og Oslo-klima. Beregningene viser at med samme oppbygning og kanaler $30 \times 20 \text{ mm}$, c/c 200 mm, vil uttørkingen med Oslo-klima kunne være omtrent dobbel så stor som med Trondheims klima. Beregningene viser også at med samme klima vil uttørkingen være vesentlig større med luftkanaler $40 \times 30 \text{ mm}$ og c/c 300 mm enn med $30 \times 20 \text{ mm}$ og c/c 200 mm.

Regneprogrammet som ble benyttet tar ikke hensyn til økningen i temperatur i øvre del av taket på grunn av direkte soloppvarming. Av erfaring vet vi at denne temperaturhevingen øker uttørkingsevnen vesentlig. Dette vil si at uttørkingen i virkeligheten er større enn hva beregningene våre viser, og at det er en viktig forklaring på forskjellen mellom beregnet og målt uttørking for taket på Voll.

Vi kan også se at størstedelen av uttørkingen skjer i perioden fra mars til og med august.

For øvrig gir pilotprosjektet bekreftelser på at alle hovedkonklusjonene i [1] er riktige:

- Den foreslåtte parapetutformingen med luftespalten inn mot taksiden fungerer tilfredsstillende.
- Vindtrykkforskjell mellom inn- og utløpsåpningene vil i all hovedsak resultere i undertrykk i luftkanalene. Kun i noen begrensede perioder er det trykk i kanalene, og da i et så lite omfang at det ikke vurderes som noe problem sett i forhold til ev. risiko for vindavblåsing. Der det er usikkerhet om parapeten har fått en lufttett utførelse, bør man vurdere nøye om konstruksjon med luftkanaler i isolasjonssjiktet bør benyttes pga av faren for avblåsing av takbelegget.
- Vindhastigheter på byggestedet i størrelsesorden 0 – 5 m/s gir tilstrekkelig drivtrykk for å få ønsket luftgjennomstrømning i luftkanalene.
- Vindretninger med til dels stor vinkel med kanalretningen på opptil $\pm 45^\circ$ vil innenfor de samme vindhastighetene som gitt over (0-5 m/s) fortsatt gi ønsket luftgjennomstrømning i luftkanalene.
- Kanalstørrelsen $b \times h = 30 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ og senteravstand 200 mm, vil i et Trondheims klima gi ca. halvert uttørking i forhold til kanalstørrelse $40 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, c/c 300 mm i Oslo klima. Det vil imidlertid gi et litt lavere energitap også, ca. 0,75 % mot ca. 1 % for $b \times h = 40 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, c/c 300 mm.

7 Referanser

- [1] Noreng, K. og Uvsløkk, S. (2010)
Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørkingsevne. Prosjektrapport 63, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [2] Noreng, K., (2008)
Fukt i kompakte tak. Resultater fra en feltundersøkelse i tre faser. Oppdragsrapport B10210-121. SINTEF Byggforsk, Oslo
- [3] Uvsløkk, S., (2008)
Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak. Prosjektrapport 19. SINTEF Byggforsk, Oslo
- [4] Geving, S. og Holme, J., (2009)
Compact wood frame roofs with built-in-moisture. Prosjektrapport 38. SINTEF Byggforsk, Oslo
- [5] Byggedetaljer 520.339 (2009)
Bruk av brennbar isolasjon i bygninger. Byggforskserien, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [6] Byggedetaljer 525.207 (2007)
Kompakte tak. Byggforskserien, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [7] Byggedetaljer 525.002 (2007)
Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materialer. Byggforskserien, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [8] Oustad, M., Uvsløkk, S., Gustavsen, A., (2005)
Selvuttørkingsevne for kompakte tak - diffusjon. Prosjektrapport 386, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [9] TPF informerer nr.6. Branntekniske konstruksjoner for tak. Se: www.tpf--info.org
- [10] Salonvaara, M. og Nieminen, J. VTT Building and Transport
Hygrothermal Performance of Low-Sloped Roofs with Groove Ventilation
Building Physics 2002 - 6th Nordic Symposium.
- [11] Wolleng, T. (1979)
VVS-tekniske data for Norge. Håndbok 33, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [12] NS-EN 1991-1-4 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-4 Allmenne laster – vindlaster.
- [13] Lisø, K.R., Kvande, T. (2007)
Klimatilpasning av bygninger. Sluttrapport fra Klima 2000. SINTEF Byggforsk, Oslo

Vedlegg

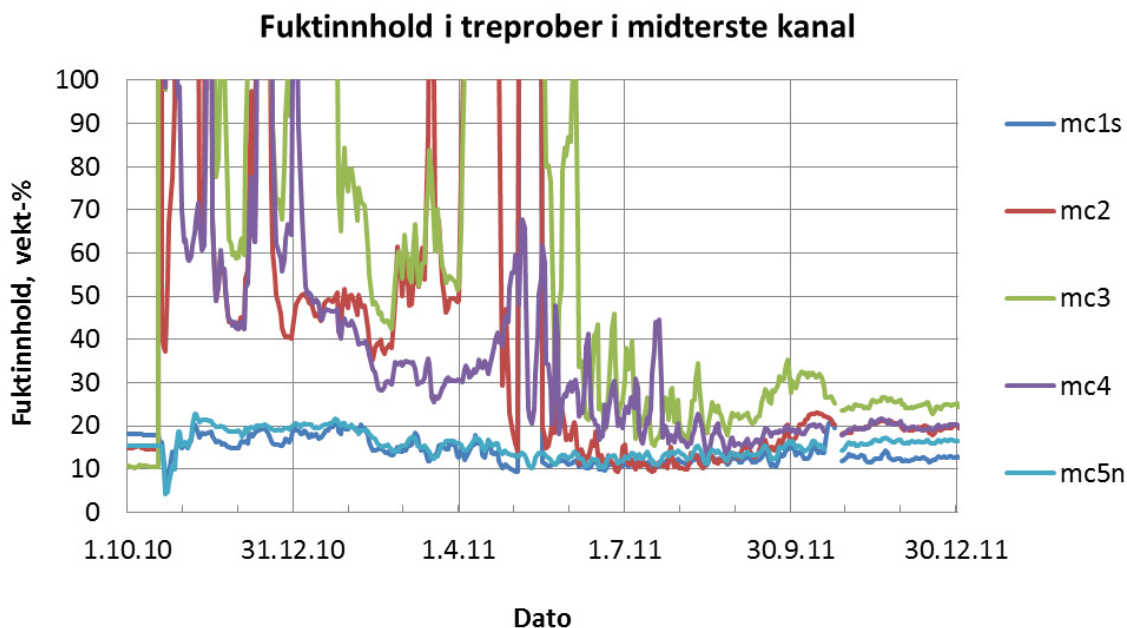


Diagram V1

Diagrammet viser hvordan fuktinnholdet i de fem treprobene i midterste kanal varierer med tiden. Kurven merket mc1s gjelder treproben ved kanalåpningen i sør og mc5n ved kanalåpningen mot nord, mens de øvrige treprobene er plassert inne i luftkanalen. Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann ved treprobene.

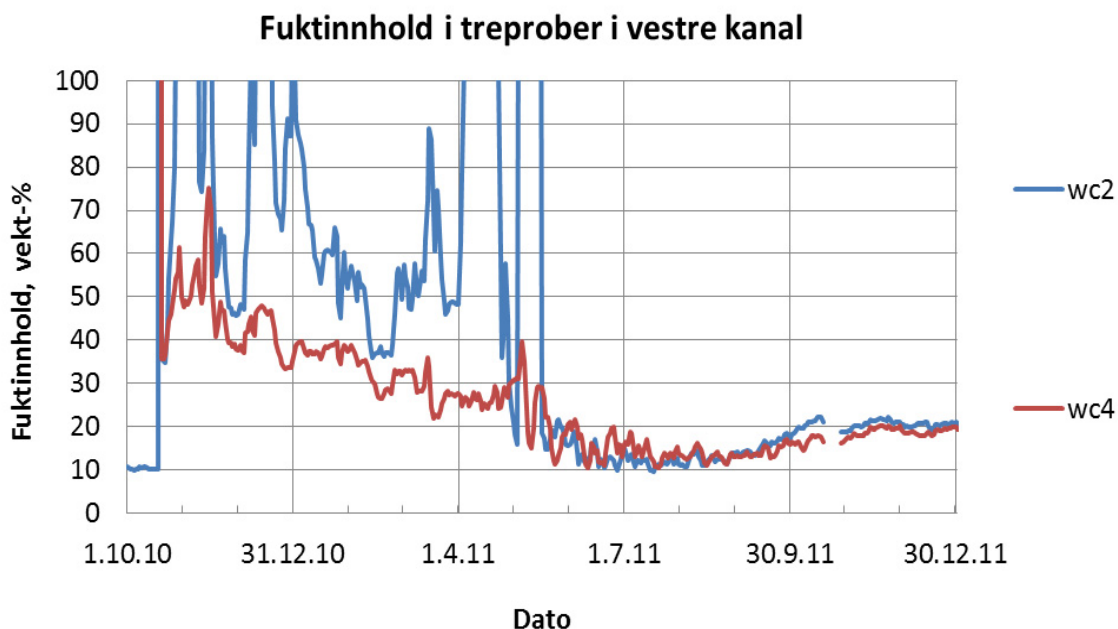


Diagram V2

Diagrammet viser hvordan fuktinnholdet i de to treprobene i vestre kanal varierer med tiden. Kurven merket wc2 gjelder treproben like ved kanalåpningen i sør og wc4 ved kanalåpningen mot nord. Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann ved treprobene.

Fukttinnhold i treprober nederst i isolasjonssjiktet, midten

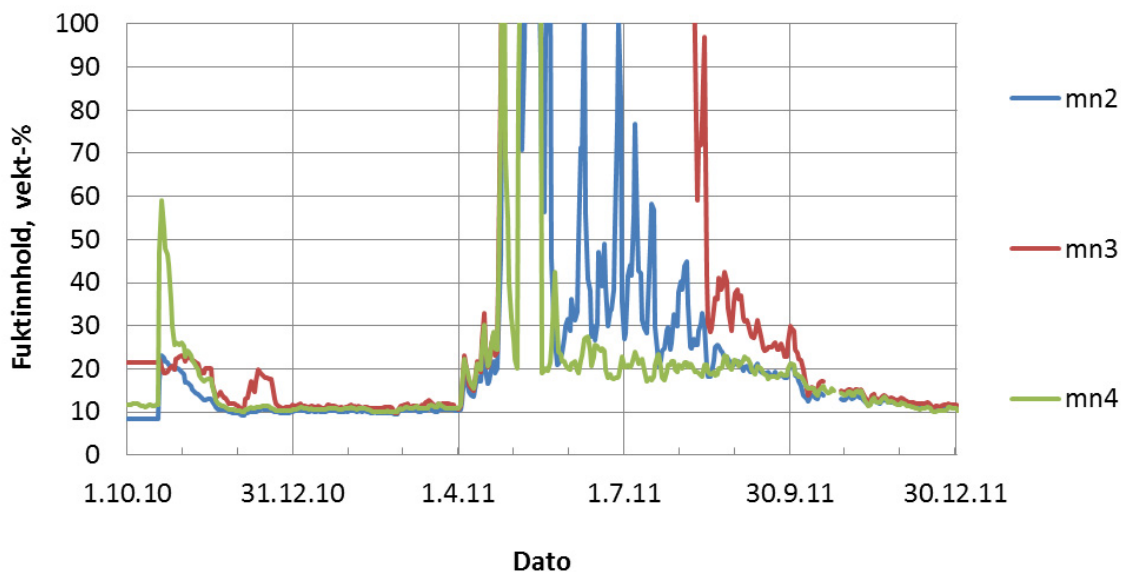


Diagram V3

Diagrammet viser hvordan fukttinnholdet i de tre treprobene nede på dampspærren, rett ned for den midterste kanalen, varierer med tiden.

Kurven merket mn2 gjelder treproben ved sørenden av taket, mn3 ved midten og mn4 ved nordenden av taket.

Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann oppe på dampspærren.

Fukttinnhold i treprober nederst i isolasjonssjiktet, vest

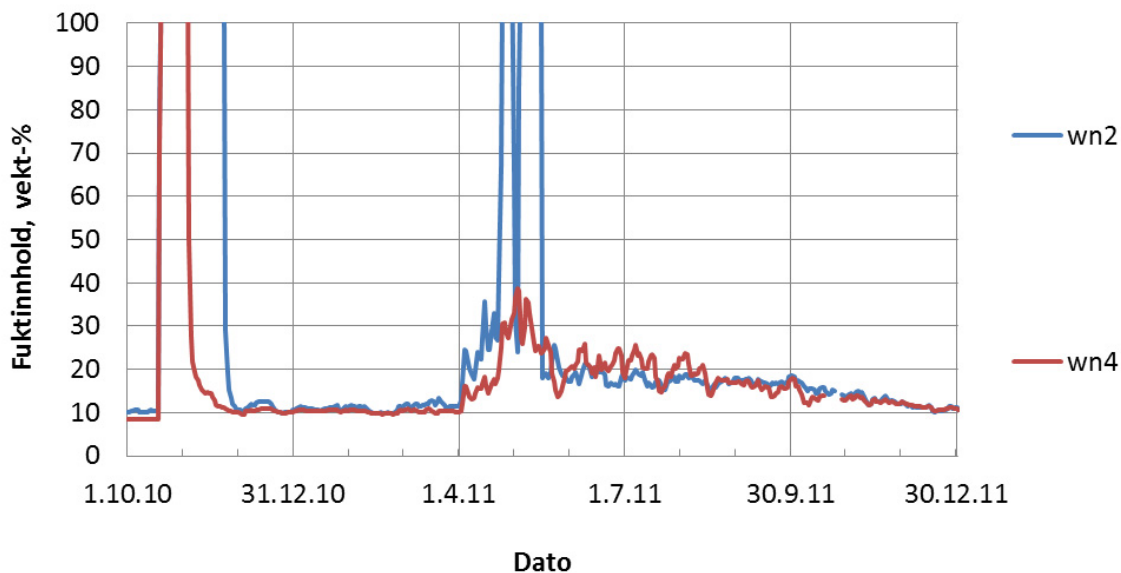
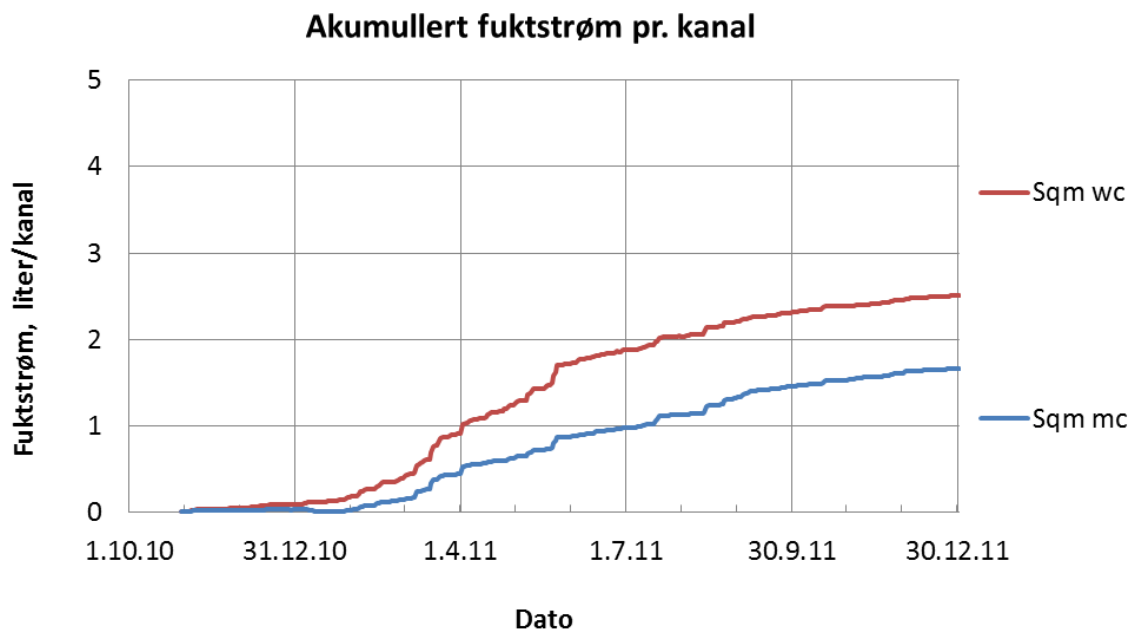


Diagram V4

Diagrammet viser hvordan fukttinnholdet i de to treprobene nede på dampspærren, rett ned for den vestre kanalen, varierer med tiden.

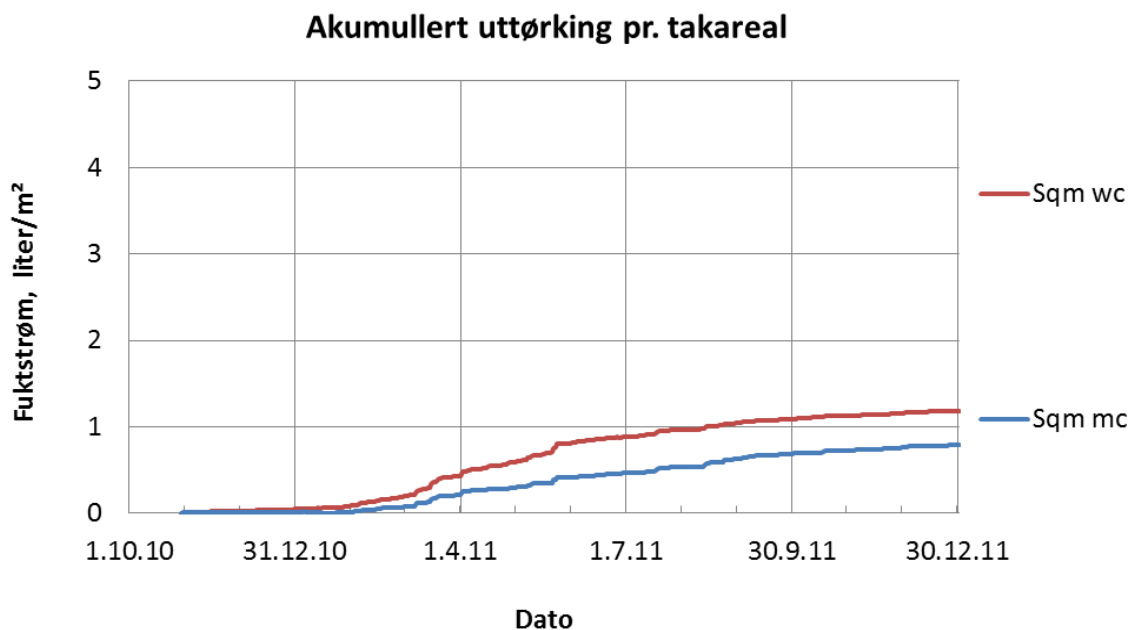
Kurven merket wn2 gjelder treproben ved sørenden av taket og wn4 ved nordenden av taket.

Verdier over 30 vekt-% er unøyaktige verdier, men indikerer at det er fritt vann oppe på dampspærren.

**Diagram V5**

Diagrammet viser samlet uttørking angitt i liter pr. luftekanal.

Kurven merket Sqm wc gjelder fukt som er tørket ut med luftstrømmen gjennom vestre kanal og Sgm mc gjelder midtre kanal.

**Diagram V6**

Diagrammet viser samlet uttørking angitt i liter pr. kvadratmeter takflate.

Kurven merket Sqm wc gjelder fukt som er tørket ut med luftstrømmen gjennom vestre kanal og Sgm mc gjelder midtre kanal. Kurvene viser gjennomsnittsverdier og er basert på samme tall som i figur V5, men her er uttørkingen dividert på takarealet hver kanal representerer.

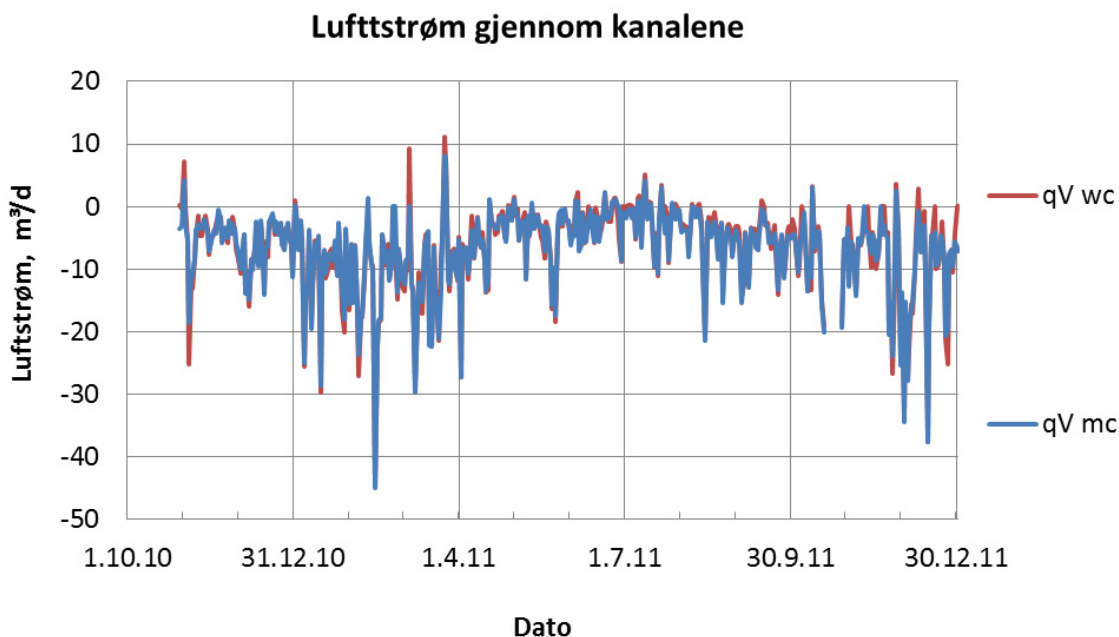


Diagram V7

Diagrammet viser beregnet luftstrøm i de to instrumenterte kanalene. Luftstrømmen er beregnet på grunnlag av målt trykkforskjell mellom inn- og utløp for luftekanalene og kjent sammenheng mellom trykkforskjell og luftstrøm funnet ved måling på tilsvarende kanaler i laboratoriet. Strømning fra sør mot nord er definert som positiv strømningsretning. Her har luftstrømmene stort sett vært negative noe som betyr at luften stort sett har strømmet fra nord mot sør i kanalene.

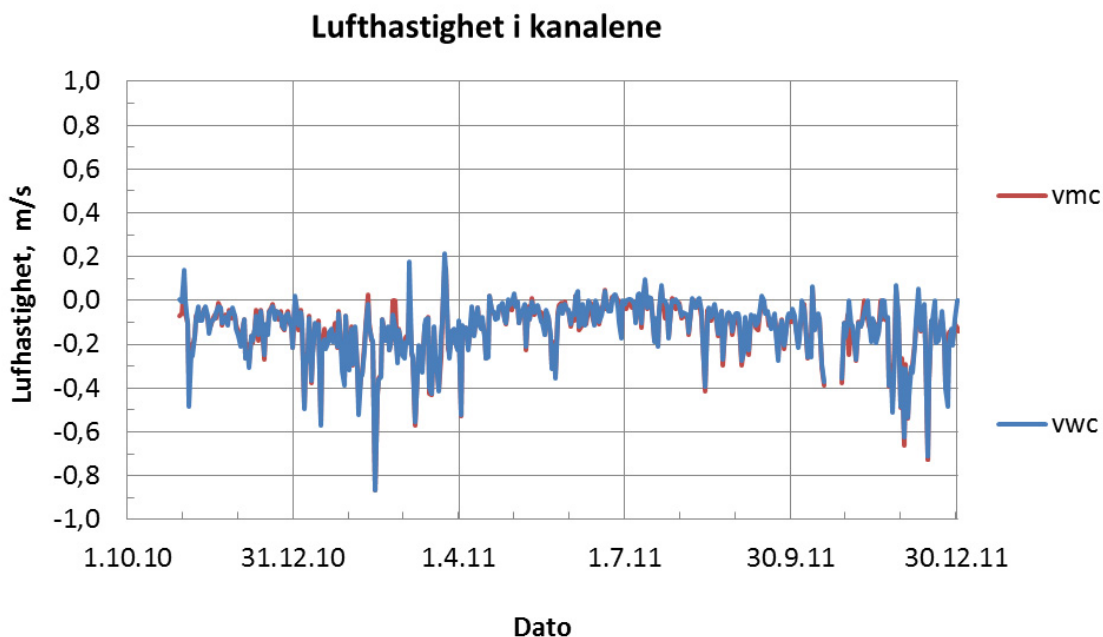
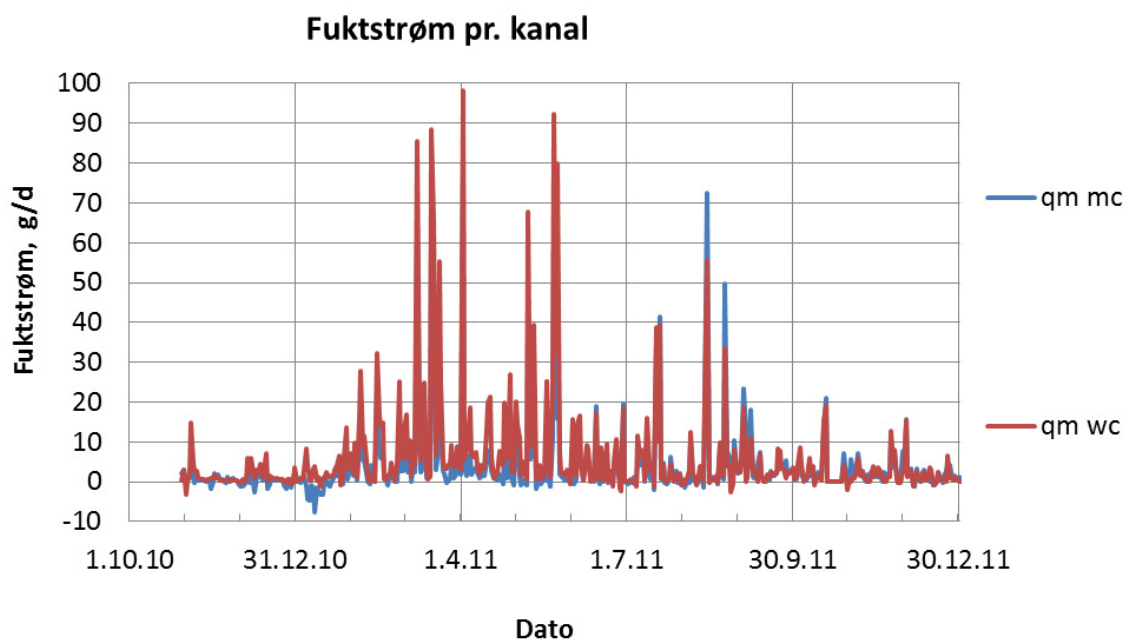
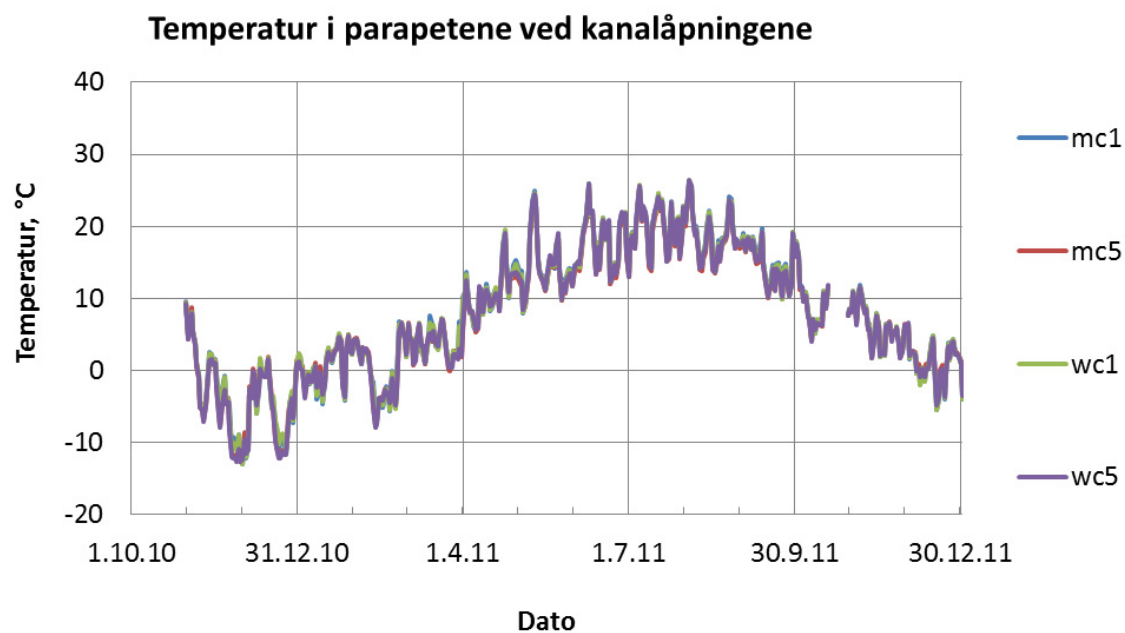


Diagram V8

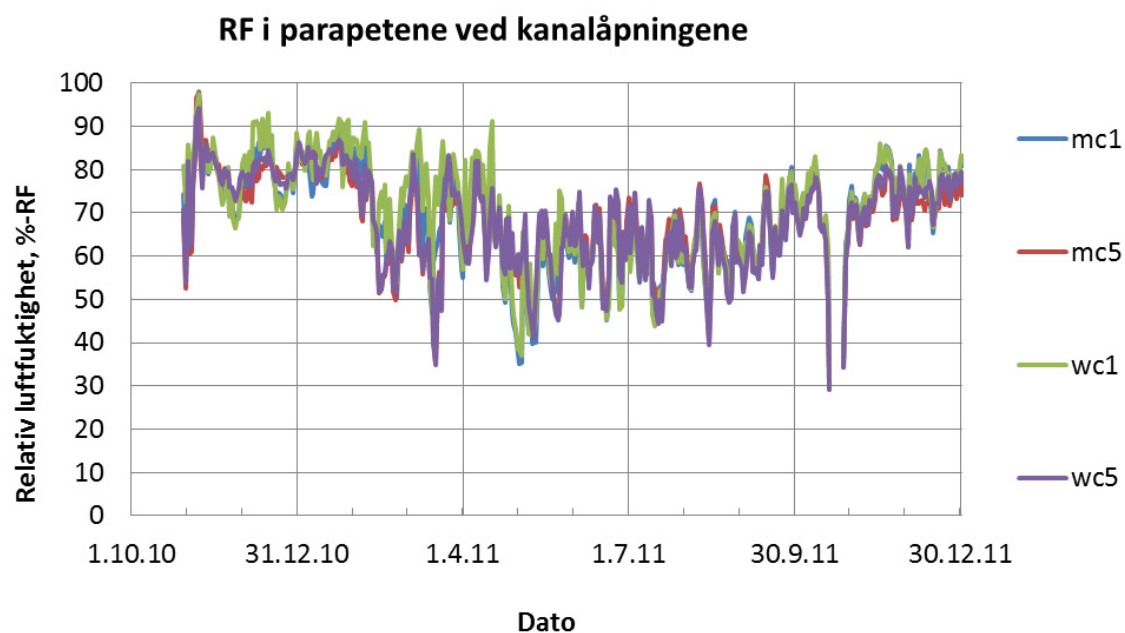
Diagrammet viser beregnet lufthastighet i de to instrumenterte kanalene. Lufthastigheten er beregnet som luftstrøm dividert på tverrsnittsarealet for kanalene. Strømning fra sør mot nord er definert som positiv strømningsretning. Her har lufthastighetene stort sett vært negative noe som betyr at luften stort sett har strømmet fra nord mot sør i kanalene.

**Diagram V9**

Diagrammet viser beregnet fuktstrøm i de to instrumenterte kanalene. Fuktstrømmen er beregnet på grunnlag av luftstrømmen gjennom kanalen, vist i figur V7, og forskjellen i absolutt fuktinnhold i luften ved de to kanalåpningene. Absolutt fuktinnhold i luften er beregnet på grunnlag av målt lufttemperatur, figur V10, og målt relativ luftfuktighet, RF, figur V11, ved kanalåpningene.

**Diagram V10**

Diagrammet viser målt lufttemperatur ved kanalåpningene.

**Diagram V11**

Diagrammet viser målt relativ luftfuktighet, RF, ved kanalåpningene.

Vindhastighet

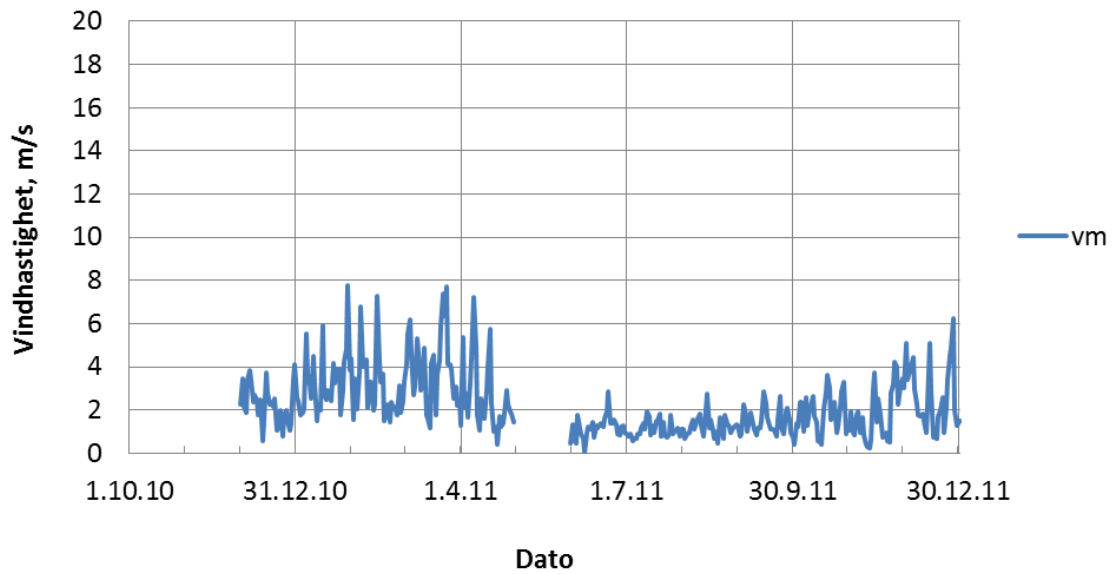


Diagram V12

Diagrammet viser målt vindhastighet ved forsøkshuset 10 m over bakkenivå.

Vindretning

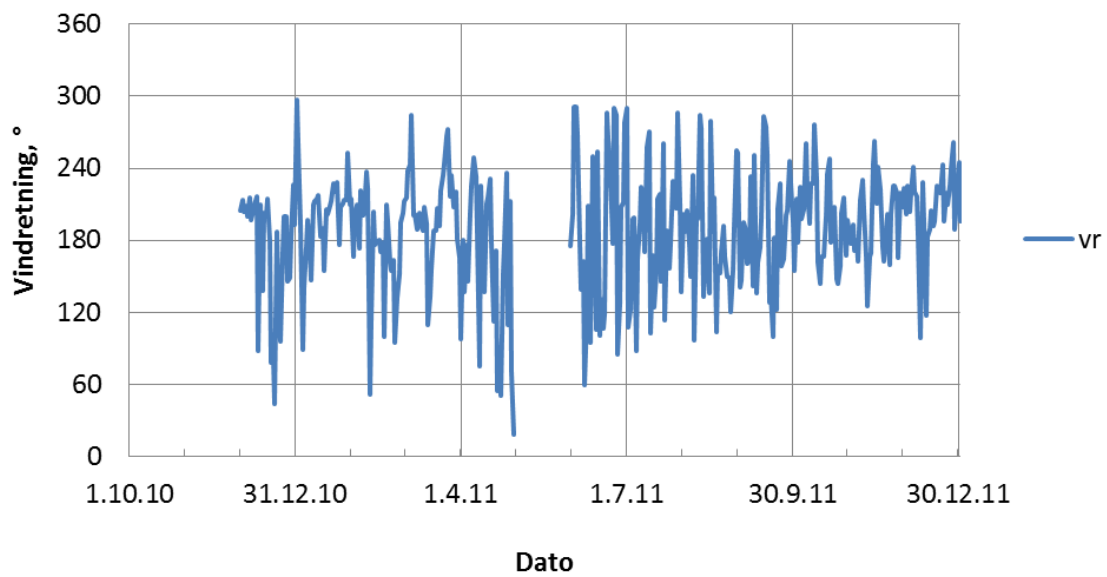


Diagram V13

Diagrammet viser målt vindretning ved forsøkshuset 10 m over bakkenivå.

Vindtrykk ved åpningene til midtre kanal

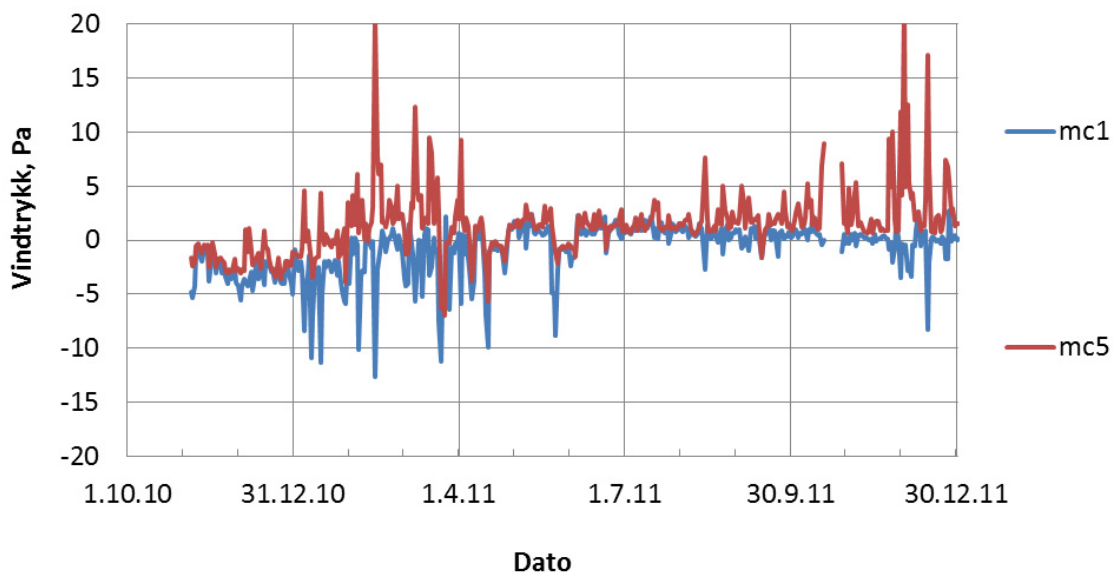


Diagram V14

Diagrammet viser målt vindtrykk inne i parapetene ved åpningen til midtre kanal.

Vindtrykk ved åpningene til vestre kanal

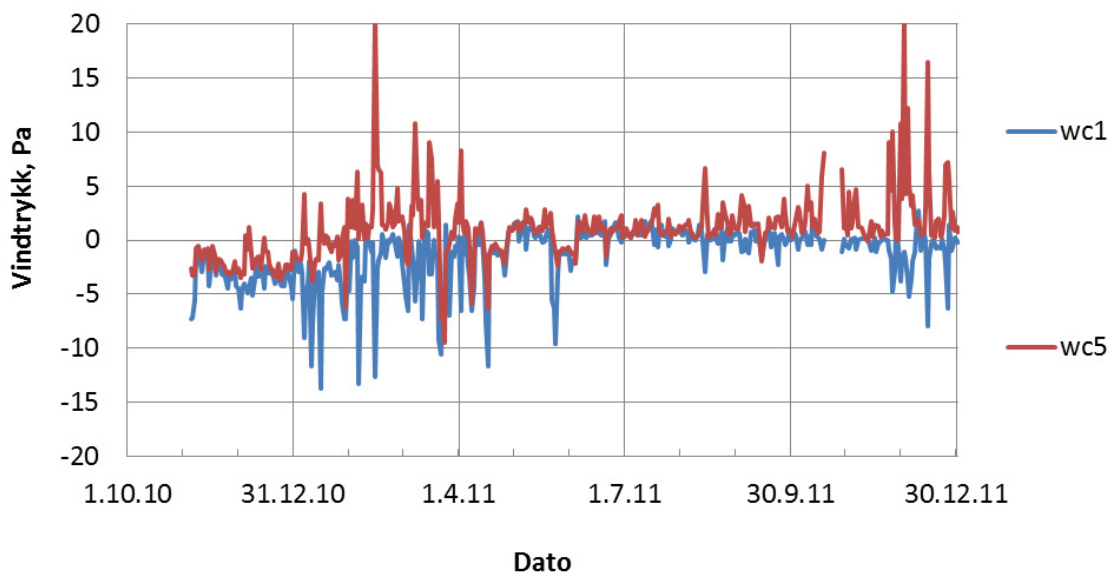


Diagram V15

Diagrammet viser målt vindtrykk inne i parapetene ved åpningen til vestre kanal.

Forskjell i vindtrykk ved kanalåpningene, (1-5)

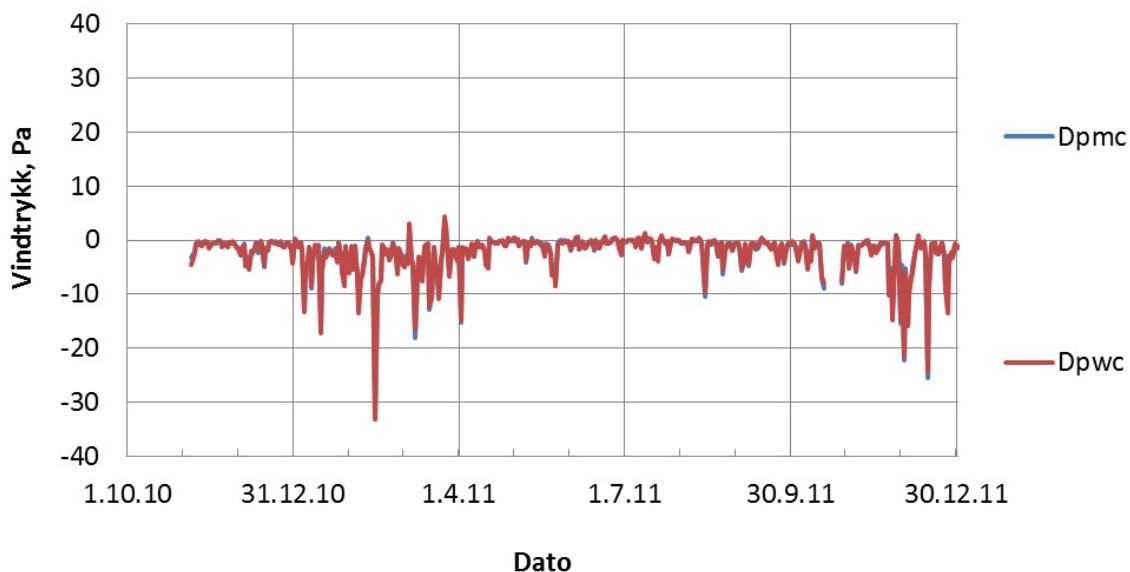


Diagram V16

Diagrammet viser målt vindtrykkforskjell mellom de to åpningene for hver av de to instrumenterte kanalene.

Målt vindhastighet avhengig av vindretning

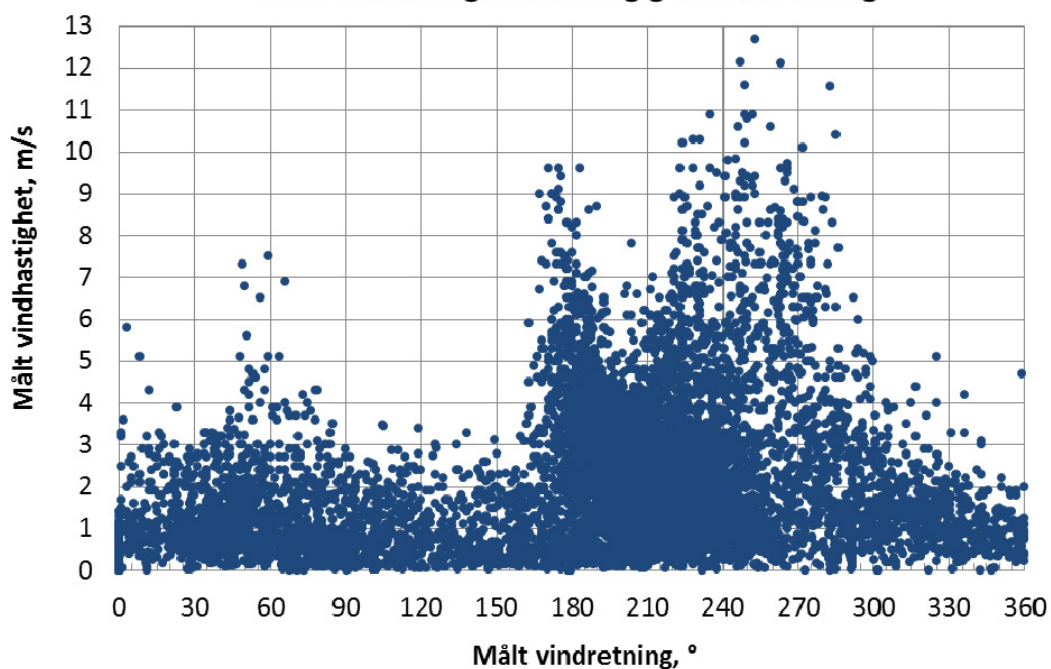


Diagram V17

Diagrammet viser hvordan målt vindhastighet varierer med målt vindretning. Alle målingene er fra målerne i vindmasten, 10 m over bakken.

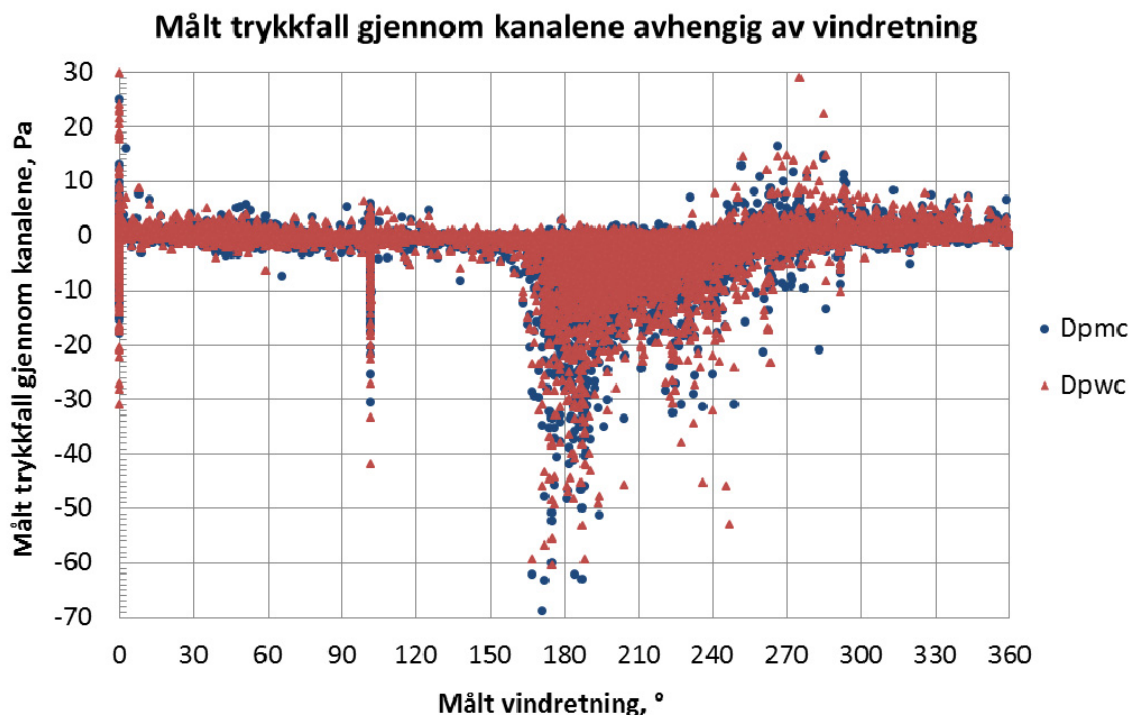


Diagram V18

Diagrammet viser hvordan målt trykkfall gjennom kanalen varierer med målt vindretning. De blå symbolene merket Dpmc gjelder midtre kanal og de røde merket Dpwc er for vestre kanal.

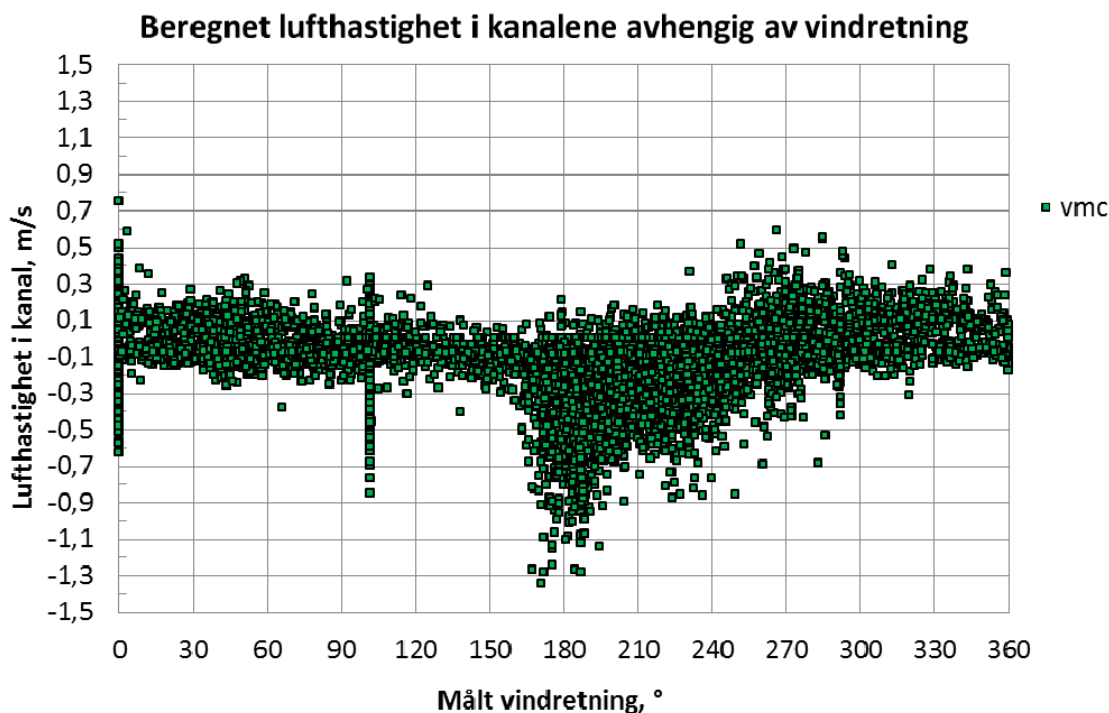


Diagram V19

Diagrammet viser hvordan beregnet lufthastighet i midtre kanalen varierer med målt vindretning. Beregningene er basert på målt trykkforskjell og sammenheng mellom trykkforskjell og lufthastighet funnet ved laboratoriemålinger.

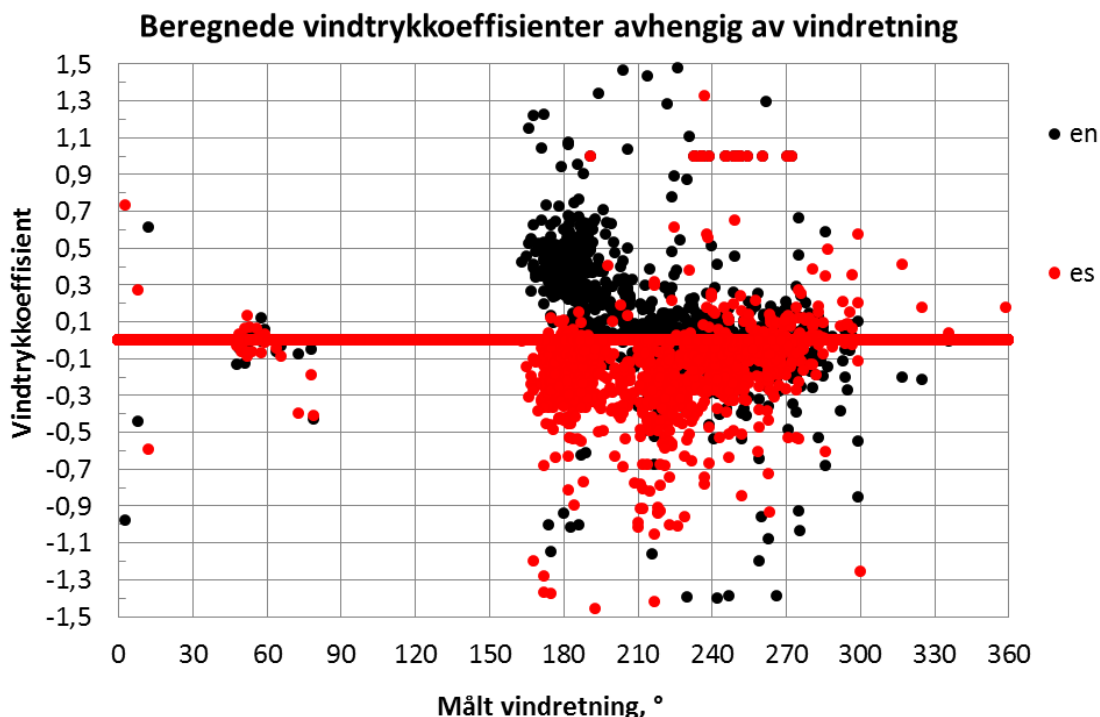


Diagram V20

Diagrammet viser hvordan beregnede vindtrykkoeffisienter ved parapetene varierer med målt vindretning. Verdiene er basert på målt vindtrykk like utenfor luftespalteåpningen til parapetene dividert på dynamisk vindtrykk målt 10 m over bakken. De svarte punktene gjelder den nordlige parapeten og de røde den sørlige. Bare verdier for vindhastigheter over 4 m/s er tatt med.

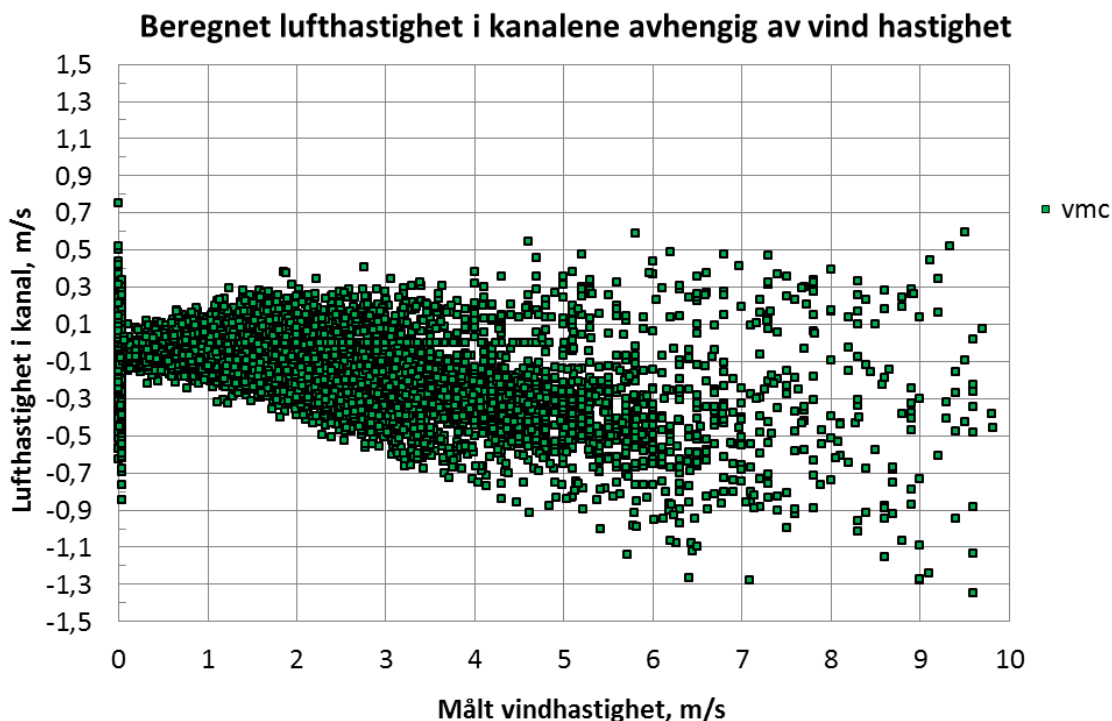
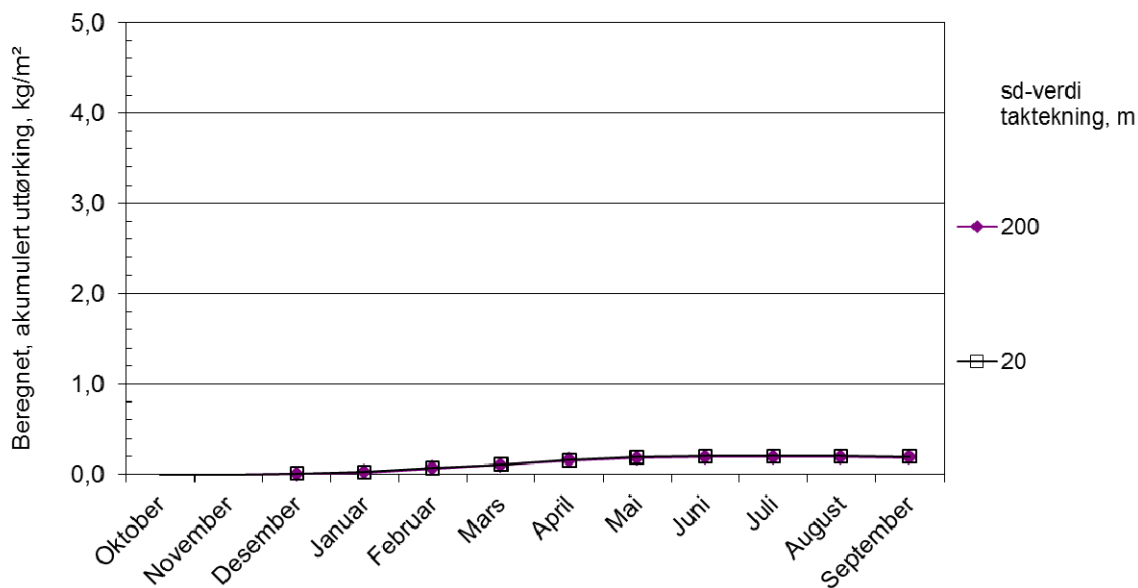


Diagram V20

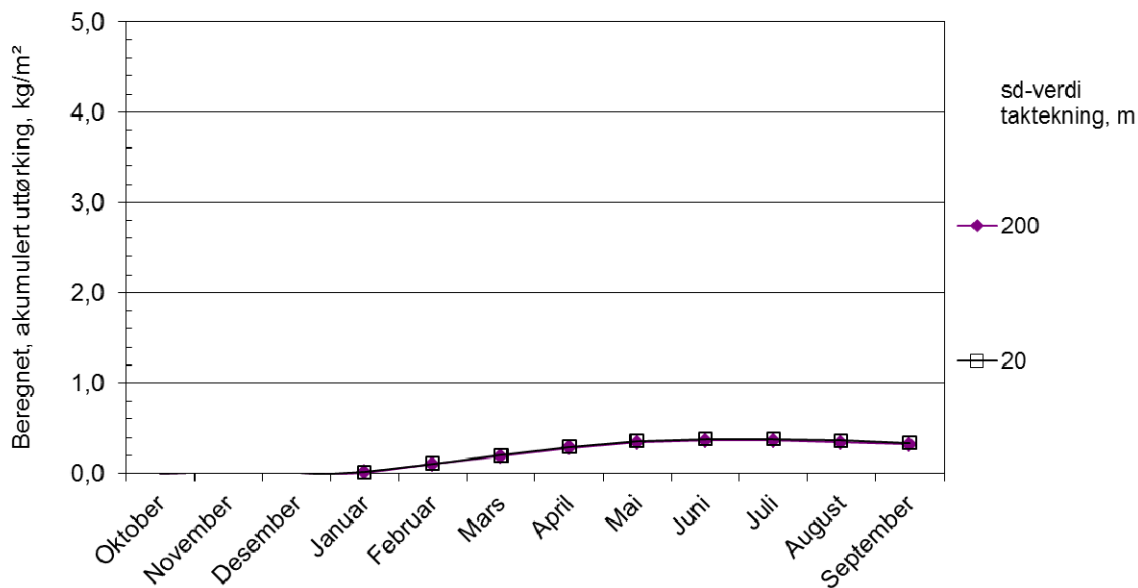
Diagrammet viser hvordan beregnet lufthastighet i midtre kanalen varierer med målt vindhastighet. Målte verdier ved alle vindretninger er tatt med.



Kanalengde: 11 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, med luftkanaler 20 x 30 mm c/c 0,2 m, toppisolasjon: 20 mm, vindtrykkfakt.: $C_i - C_e = 0,5$, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, RF-luft ut av kanalene: 90 %-RF, uteklima: Trondheim

Diagram V22

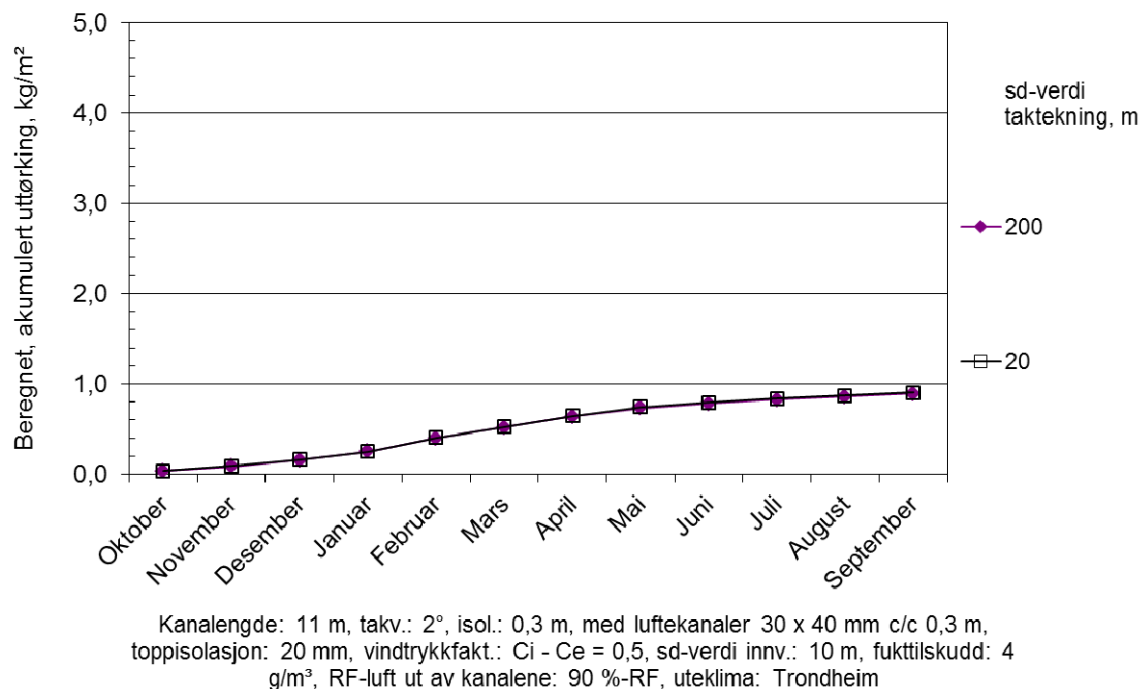
Diagrammet viser en forenklet beregning av samlet uttørkingskapasitet angitt i liter pr. m² takflate i Trondheim. Beregningen gjelder for et tak med samme oppbygning og kanaler som forsøktaket på Voll. I beregningene er det forutsatt at taktekningen har samme temperatur som uteluften. I virkeligheten blir taket mye varmere når sola skinner på taket, men denne temperaturøkningen er neglisjert i beregningene.



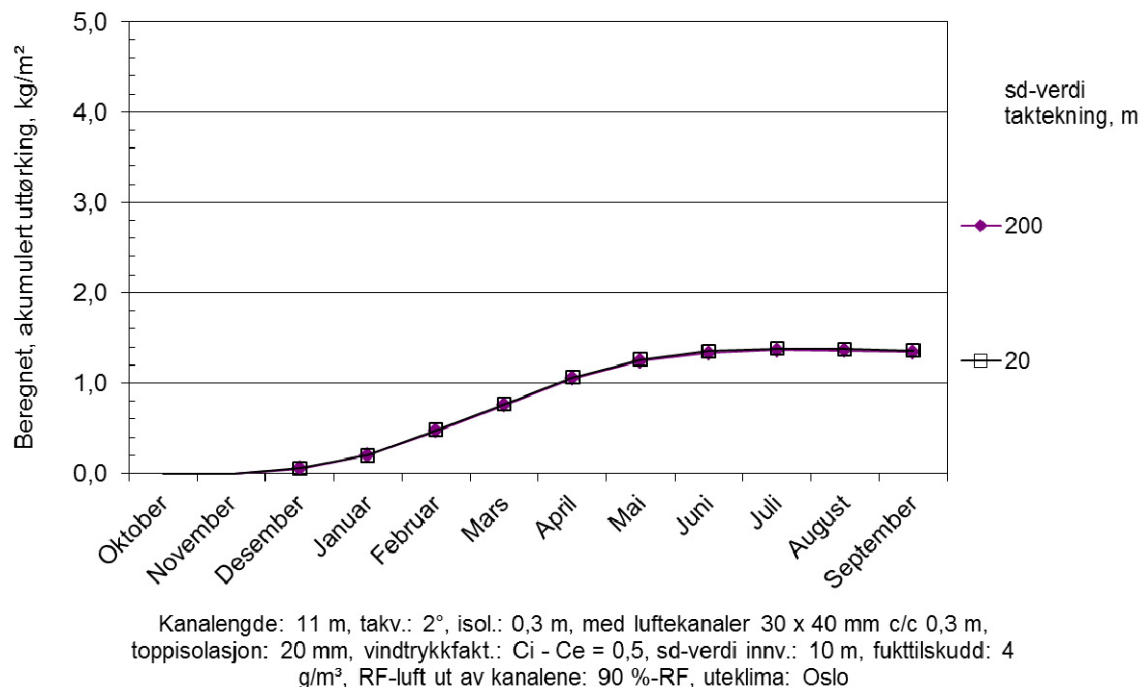
Kanalengde: 11 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, med luftkanaler 20 x 30 mm c/c 0,2 m, toppisolasjon: 20 mm, vindtrykkfakt.: $C_i - C_e = 0,5$, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, RF-luft ut av kanalene: 90 %-RF, uteklima: Oslo

Diagram V23

Diagrammet viser en forenklet beregning av samlet uttørkingskapasitet angitt i liter pr. m² takflate. Samme tak og kommentarer som for figur V22, men beregningene er gjort med klimadata for Oslo.

**Diagram V24**

Diagrammet viser en forenklet beregning av samlet uttørkingskapasitet angitt i liter pr. m² takflate i Trondheim. Beregningen gjelder for et tak med dobbelt så stort kanalvernsnitt og litt større C/C avstand sammenlignet med forsøktaket på Voll. I beregningene er det forutsatt at taktekningen har samme temperatur som uteluften. I virkeligheten blir taket mye varmere når sola skinner på taket, men denne temperaturøkningen er neglisjert i beregningene.

**Diagram V25**

Diagrammet viser en forenklet beregning av samlet uttørkingskapasitet angitt i liter pr. m² takflate. Samme tak og kommentarer som for figur V24, men beregningene er gjort med klimadata for Oslo.

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

