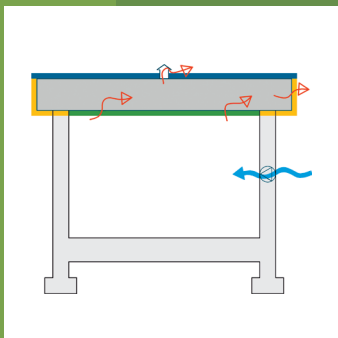
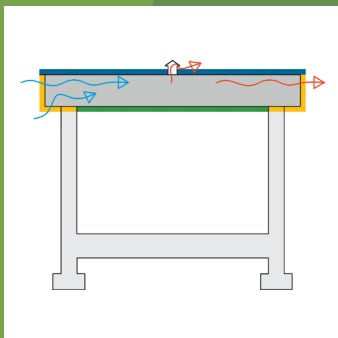
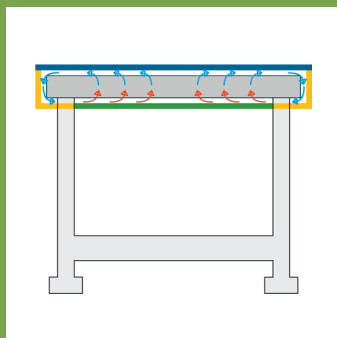
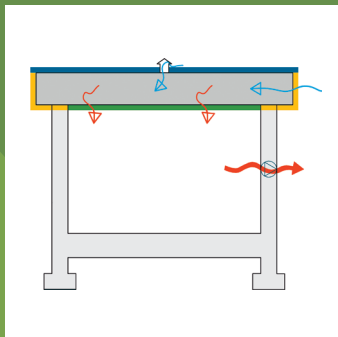
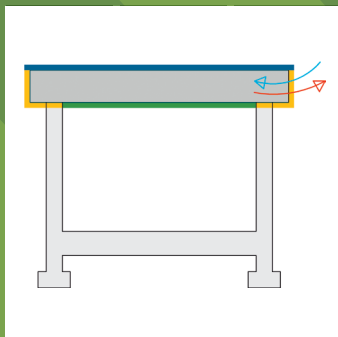
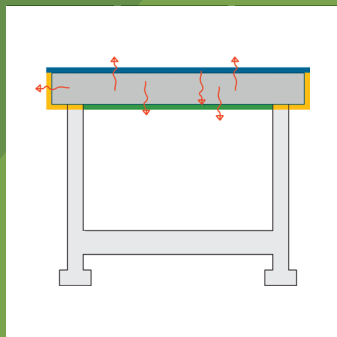


Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak

Prosjektrapport 19

2008



SINTEF Byggforsk

Sivert Uvsløkk

Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak

Prosjektrapport 19 – 2008

Prosjektrapport nr. 19

Sivert Uvsløkk

Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak

Emneord:

Klimapåkjønning, tak, fukt, takteking, vindsperre, dampsperre, varmeisolasjon, selvuttørking, diffusjon, luftgjennomstrømning, konveksjon, beregninger

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1023-8

Prosjektnr.: B 1437299

150 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g scandia

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2008

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk 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

Denne prosjektrapporten omhandler selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak og er en oppsummering av arbeid utført i FoU programmet *Klima 2000 – Klimatilpassning av bygningskonstruksjoner* [1]. Vi har laget en systematisk oversikt over de fleste uttørkingsmekanismene som kan opptre, og forsøkt å kvantifisere hvilket uttørkingspotensial de ulike mekanismene har. Kvantifiseringen er hovedsakelig gjort på grunnlag av teoretiske beregninger, men erfaringstall fra blant annet en feltundersøkelse er også lagt til grunn. Også feltundersøkelsen er gjennomført som en del av *Klima 2000*.

Takets og tekningens temperatur i forhold til uteluftens temperatur har stor betydning for uttørkingsforholdene i tak. Vi har derfor også analysert en del temperaturmålinger som ble gjort på et forsøkshus på Voll i Trondheim på 1990-tallet. Diagrammene fra temperaturmålingene viser blant annet hvordan uttørkingsmulighetene varierer over året.

Vi vil rette en takk til medarbeidere både ved SINTEF Byggforsk og NTNU samt samarbeidspartnerne i Klima 2000 for verdifulle innspill om uttørking av kompakte tak og tilgrensende problemstillinger. En spesiell takk til Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF) for deres støtte til utarbeidelsen av rapporten.

Trondheim, juli 2008

Tore Kvande
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Sammendrag

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

Kompakte tak bygges derfor normalt 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 kan spre seg fra taket og inn i bygget og virke negativt inn på inneluftkvaliteten. Muggsopp er derfor uønsket, også i kompakte tak.

For å begrense muggsoppveksten og for å sikre best mulig varmeisolasjonsevnen er det ønskelig med en viss uttørkingsevne for å holde fuktinnholdet nede også i kompakte tak.

Denne prosjektrapporten omhandler selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak og er en oppsummering av arbeid utført i FoU programmet *Klima 2000*. Hovedmålet med rapporten har vært å lage en samlet beskrivelse av naturlige uttørkingsmekanismer for kompakte tak samt å gi en oversikt over hvor stor uttørkingsevne de ulike metodene kan gi. Vi har laget en systematisk oversikt over de fleste uttørkingsmekanismene som kan opptre, og forsøkt å kvantifisere hvilket uttørkingspotensial de ulike mekanismene har. Oversikten er gitt i tabellform i kapittel 2.

Kvantifiseringen av uttørkingspotensial er hovedsakelig gjort på grunnlag av teoretiske beregninger og analyse av tidligere utførte temperaturmålinger på tak ved SINTEF Byggforsk sitt forsøksfelt på Voll i Trondheim. Erfaringer fra en feltundersøkelse, utført i regi av *Klima 2000*, er også lagt til grunn.

De ulike uttørkingsmekanismene som diffusjon, luftgjennomstrømning, luftutveksling og drenering og tilhørende drivkrefter er omtalt i egne kapitler.

Uttørking ved luftutskifting og luftgjennomstrømning er undersøkt ved bruk av egenutviklede beregningsprogrammer og en del beregningsresultater er vist i form av diagrammer i vedleggene 1 - 4. Ved disse beregningene er det regnet konservativt og det er ikke tatt hensyn til at taktekningen kan bli flere titals grader varmere enn utelufttemperaturen når sola skinner direkte på taket. Oppvarming av tak ved solstråling har imidlertid stor betydning for uttørkingshastigheten, både når fukttransporten skjer ved diffusjon og når fukten transporteres med luftstrøm. I kapittel 9 og i vedlegg 6 er det vist hvilket uttørkingsevne en kan oppnå ved å utnytte soloppvarming av taket.

Gjennomstrømning av uteluft i kanaler i takisolasjonen er den mekanismen som kan gi størst uttørkingsevne, og som kan tørke ut større fuktmengder allerede i løpet av den første våren og sommeren. Uttørkingsmekanismen kan utnyttes for å gi kompakte tak midlertidig eller varig uttørkingsevne.

Før vi eventuelt vil anbefale uttørkingsmekanismen med luftkanaler i isolasjonen, er det nødvendig å gjennomføre pilotprosjekter med målinger i virkelige tak under naturlige forhold. Det er nødvendig 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. Praktiske forsøk vil også være viktige for å videreutvikle gode og enkle detaljløsninger.

Diffusjon ned gjennom nye dampsperrertyper med variabel dampmotstand, kan også gi kompakte tak en betydelig uttørkingsevne.

De øvrige uttørkingsmekanismene, som diffusjon ut gjennom dampåpne materialer ved takkantene og luftstrøm gjennom tilfeldige utettheter, kan gi lokal uttørking og være tilstrekkelige for å holde fuktnivået nede etter at fuktighet fra byggeperioden har tørket ut.

Behovet for uttørkingsevne for kompakte tak kan forøvrig begrenses ved andre tiltak som værbeskyttet bygging, regntette detaljløsninger, lufttett dampsperre og god ventilasjon.

Selv med tilrettelegging for god selvuttørkingsevne må kompakte tak fortsatt bygges av materialer som tåler fukt. Dette siden man må regne med høyt fuktinnhold i perioder, i alle fall en tid etter at taket er lukket.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHold.....	6
1 INNLEDNING.....	8
1.1 FORMÅL	8
1.2 BAKGRUNN.....	8
1.3 METODER	10
2 UTTØRKINGSMEKANISMER FOR KOMPakte TAK - OVERSIKT	11
3 DIFFUSJON	14
3.1 GENERELT	14
3.2 DIFFUSJON UT GJENNOM TAKTEKNINGEN	14
3.3 DIFFUSJON FRA TAKET OG NED GJENNOM DAMSPERRE/DAMPBREMS	14
3.4 DIFFUSJON UT VED TAKKANTENE	15
4 GJENNOMSTRØMNING AV UTELUFT.....	16
4.1 BETINGELSER FOR UTTØRKING	16
4.2 DRIVKREFTER FOR LUFTGJENNOMSTRØMNING.....	16
4.3 OPPDRIFTSTRYKK.....	16
4.4 VINDTRYKK.....	17
4.5 STRØMNINGSMOTSTAND	18
4.6 LUFTFUKTIGHET OG TEMPERATUR.....	19
4.7 FUKTFORDELING I TAKET	19
4.8 UTTØRKING ELLER OPPFUKTING?	20
4.9 MOTSTRØMSTAK	21
5 GJENNOMSTRØMNING AV INNELUFT	22
5.1 BETINGELSER FOR UTTØRKING	22
5.2 FARE FOR OPPFUKTING.....	22
6 LUFTUTVEKSLING.....	24
6.1 VARIERENDE TEMPERATUR I TAKET	24
6.2 VARIERENDE LUFTRYKK, BAROMETERTRYKK	24
7 DRENERING	25
7.1 DAMSPERRE PÅ PLANT UNDERLAG MED FALL.....	25
8 STRØMNINGSBEREGNINGER.....	26
8.1 BEREGNET UTTØRKING VED LUFTGJENNOMSTRØMNING	26
8.2 RESULTATER FRA STRØMNINGSBEREGNINGENE	26
9 TEMPERATURMÅLINGER OG TEORETISK UTTØRKINGSKAPASITET	28
9.1 GENERELT	28
9.2 TEMPERATURMÅLINGER PÅ VOLL I TRONDHEIM.....	28
9.3 BEREGNET UTTØRKINGSKAPASITET PÅ GRUNNLag AV TEMPERATURMÅLINGENE	28

10	OPPSUMMERING	31
10.1	UTTØRKINGSMULIGHETER FOR KOMPakte TAK.....	31
10.2	TILRETTELEGGING FOR UTTØRKING VED GJENNOMSTRØMNING AV UTELUFT	31
10.3	VIDERE ARBEID	32
	REFERANSER	33
	VEDLEGG 1-7	34

1 Innledning

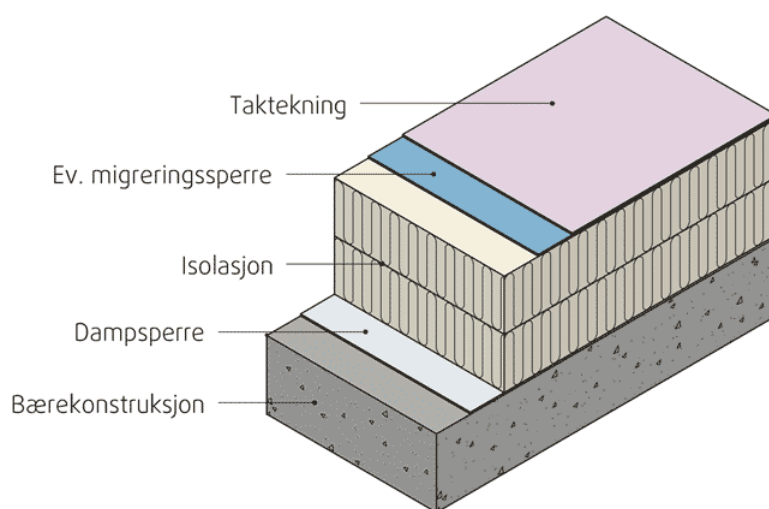
1.1 Formål

Hovedmålet med denne rapporten har vært å lage en samlet beskrivelse av naturlige uttørkingsmekanismer for kompakte tak og gi en oversikt over hvor stor uttørkingsevne de ulike metodene kan gi. En oversikt i tabellform er vist i kapittel 2.

1.2 Bakgrunn

1.2.1 Tradisjonelle kompakte tak uten uttørkingsevne

Tradisjonelt bygges kompakte tak opp uten planlagt naturlig lufting eller uttørkingsevne. Se figur 1.2.1. Byggfukt og annen fukt som kommer inn i taket må en regne med blir værende i taket i flere år før den eventuelt tørker ut. Det betyr at det vil være lange perioder med temperatur- og fuktforhold som er gunstige for soppvekst i taket, spesielt de første årene.



Figur 1.2.1

Prinsipiell oppbygning av varme, kompakte tak med isolasjonen helt opp til tekningen, uten luftespalte [3]

For å begrense mulighetene for skadelig soppvekst anbefales det å bare bruke materialer som ikke kan gi næring for soppvekst. 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, plastisolasjon og skumglass.

Vanligvis monteres en dampsperre på varm side av isolasjonen for å begrense fuktilførsel fra diffusjon nedenfra. Til takteking brukes asfalt takbelegg eller takfolie. Mens asfalt takbelegg er dampette, kan enkelte typer takfolie gi taket en viss uttørkingsevne ved diffusjon. Alle typer takteking på rull monteres med sveiste skjøter og selve takflaten er derfor praktisk talt helt 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.

1.2.2 Muggsoppvekst

Ved riktig materialvalg kan en hindre at råtesopp får vokse og svekke takets bæreevne. Muggsoppvekst kan en imidlertid ikke hindre helt gjennom materialvalg. Muggsopp kan vokse på overflaten av de fleste materialer hvis det er skitt eller rusk til stede. Muggsopp bryter imidlertid ikke ned materialer og svekker derfor ikke takets bæreevne. Muggsopp er likevel uønsket også i kompakte tak etter som soppsporer og mykotoksiner fra muggsoppen i verste fall

kan spre seg fra taket og inn i bygget og virke negativt inn på inneluftkvaliteten. Spredning kan skje ved luftstrømming gjennom utettheter eller ved diffusjon.

Diffusjon av uønskede gasser fra taket ned gjennom dampspærren og bærekonstruksjonen er en svært langsom prosess og anses ikke å utgjøre noe problem i ventilerte bygninger.

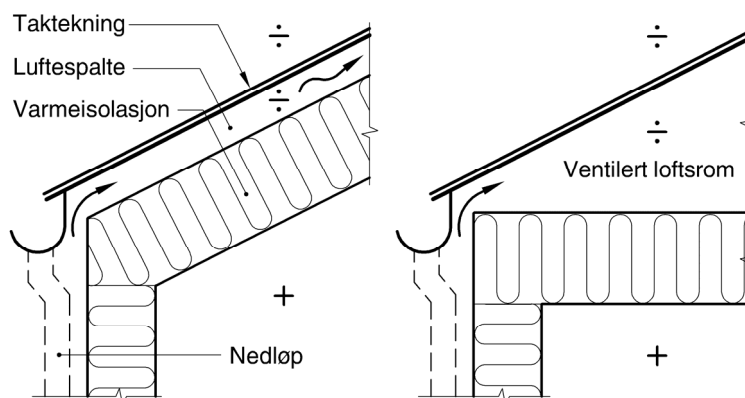
I bygninger med naturlig ventilasjon eller mekanisk ballansert ventilasjon er risikoen også liten for spredning ved luftlekkasjer fra taket og inn i bygningen. Det skyldes at det normalt vil være et innvendig overtrykk oppe under taket så lenge det er varmere inne enn ute. Når det er innvendig overtrykk oppe under taket vil det ikke kunne strømme luft nedover gjennom utettheter i taket til rommene under. I stedet vil luft strømme innenfra og ut. Denne strømmen av luft innenfra kan påvirke muggvekstbetingelsene i taket både negativt og positivt, noe vi kommer tilbake til senere i rapporten.

Vekst av mugg- og overflatesopp er sterkt avhengig av temperatur- og fuktforholdene ved materialoverflaten. Noe forenklet kan vi si at relativ luftfuktighet (RF) ved overflaten må være over 80 % og temperaturen over +5 °C for at mugg skal vokse. Veksthastigheten øker sterkt med økende fuktinnhold og økende temperatur opp til et vist nivå. Ved ytterligere temperaturøkning vil veksten avta.

De vanligste muggsoppene i bygninger dør når temperaturen blir over 40-50 °C. [2] Temperaturen på utvendig overflate og i de øverste sjiktene av kompakte tak kan bli langt høyere enn dette når sola skinner på taket, spesielt om våren og sommeren. Soloppvarming holder derfor muggveksten i sjakk i de øverste delene av taket. Se figur. 9.1

1.2.3 Snøsmelting

På kompakte tak vil snøen lett kunne smelte også når det er kuldegrader ute. Det skyldes at varmen som kommer opp gjennom taket ikke blir luftet bort som i luftede tak. Se figur 1.2.3. Når det kommer snø på taket vil den virke som varmeisolasjon og heve temperaturen på taktekingen slik at snøen smelter. Spesielt har lett nysnø god varmeisolasjonsevne. Et lag med 50 cm nysnø kan gi omtrent like stor varmemotstand som 20 cm mineralullisolasjon og medfører snøsmelting selv når temperaturen er lavere enn ca. -10 °C ute.



Figur 1.2.3

Konstruksjonsprinsipper for kalde tak med utvendig nedløp. Tak med varmeisolasjon i takflatene, til venstre, og tak med kaldt loftsrom, til høyre [4]

Ved å ha innvendig nedløp via rør som føres gjennom oppvarmede rom kan en sikre at smeltevannet ledes bort uten at det fryser og fører til problemer. Med utvendig nedløp derimot er det stor risiko for at smeltevannet vil fryse til is. Takstikkene får ikke tilført noe varme nedenfra og vil, som renner og nedløpsrør, være minst like kalde som utelufta.

Snøsmeltingen avtar med avtakende utetemperatur fordi en stadig større del av varmen opp gjennom taket da fortsetter ut gjennom snølaget og mindre varme ”blir til overs” for snøsmelting. Mulig isproduksjon på ev. takutstikk og i takrenner er derfor størst når det er noen få minusgrader ute. Da går all varmen som kommer opp gjennom taket med til å smelte snø og det er kaldt nok til at smeltevannet fryser.

For å unngå ising og de farer det kan medføre for takkonstruksjonen og folk som ferdes nedenfor anbefales det derfor at vanlige kompakte tak bygges med innvendige, varme taknedløp.

1.2.4 Snøinndrev

Kompakte tak uten lufteåpninger er ikke utsatt for snøinndrev slik som tradisjonelle luftede tretak kan være. Eventuelle lufteåpninger for å øke selvuttørkingsevnen bør sikres mot snøinndrev for eksempel ved hjelp av filt. Se eksempel i figur 4.2

1.3 Metoder

For å kunne undersøke de ulike uttørkingsmekanismene og hvor stor uttørkingsevne de kan gi har vi gjennomført en del beregninger og temperaturanalyser.

Uttørkingsmuligheten ved diffusjon ut ved takkanten er undersøkt tidligere ved hjelp av WUFI 2D som er et beregningsprogram for todimensjonal diffusjon. WUFI 2D-beregningene og resultatene er beskrevet tidligere i en egen rapport [5].

Uttørking ved ulike former for luftstrømning i taket er den mekanismen som gir klart størst uttørkingsevne for kompakte tak og som derfor er undersøkt nærmere ved beregninger. Uttørking ved luftstrømning gjennom utettheter og påmonterte ventiler på takflaten er også sannsynlig hovedårsak til uttørkingen som ble påvist i en rekke kompakte tak i en feltundersøkelse som gikk over flere år [10, 11, 12].

Strømningsberegningene er gjennomført med egenutviklede regnearkbaserte programmer. Se nærmere beskrivelse i kapittel 8. Ved beregningene av uttørking ved luftgjennomstrømning har vi brukt utelufttemperatur som omgivelsestemperatur ute og standardiserte varmeovergangsmotstander ved beregning av temperaturfordelingen gjennom taket.

I virkeligheten kan taktemperaturen avvike mange grader fra utelufttemperaturen. Forholdet mellom utelufttemperatur og taktemperatur har stor betydning for takets uttørkingsevne ved luftgjennomstrømning. Spesielt når taktekningen blir oppvarmet av sola vil transporthastigheten av fukt både inne i taket og ut av taket øke sterkt. Muligheter og begrensninger som luft- og taktemperaturene setter for uttørkingsevnen ved luftgjennomstrømning er undersøkt gjennom en analyse av tidligere utførte temperaturmålinger på et forsøkshus på Voll i Trondheim. Se kapittel 9.

2 Uttørkingsmekanismer for kompakte tak - oversikt

I dette kapitlet har vi forsøkt å gi en oversikt over de mange ulike formene for fukttransport vi kan ha også i kompakte tak. Oversikten er gitt i form av en tabell hvor de ulike uttørkingsmekanismene er sortert etter type og drivkraft for fukttransporten.

Der vi har nødvendig grunnlag, har vi angitt mulig uttørkingskapasitet. Som felles enhet for uttørkingsevne har vi valgt å bruke liter pr. kvadratmeter takflate pr. år, l/m² år.

Det er gjort en del forenklinger og forutsetninger for å komme fram til disse verdiene som derfor er beheftet med betydelig usikkerhet. Tabellen er ment å gi en grovsortering av de ulike mekanismene når det gjelder mulig uttørkingsevne. Tallene må bare betraktes som orienterende verdier.

En del av uttørkingsmekanismene er nærmere behandlet i egne kapitler.

Noen symboler som er brukt i tabellen er nærmere forklart senere i rapporten.

S_d mål for dampmotstand [m], se forklaring i kap. 3.1

μ relativt mål for vanddampmotstand, [-], se forklaring i kap. 3.1

Δv fukttilskudd, [g/m³], se forklaring i kap. 5.1

Tabell 2

Selvuttørking i kompakte tak – en oversikt over mulige mekanismer, drivkrefter og betingelser med kommentarer og anslag over mulig uttørkingskapasitet

	Mekanisme	Drivkraft	Betingelser	Kommentarer	Mulig uttørkingsevne
1 Diffusjon	Diffusjon -vertikalt oppover	Damptrykk-forskjell mellom inne i taket og utvendig overflate	Temperaturforskjell mellom inne og ute. Tekning med en viss dampåpenhet. Helst snø- og vannfritt tak.	Mørk taktekning gir større uttørking enn lys tekning fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming. Den laveste verdiene av oppgitt mulig uttørkingsevne gjelder for lys folie, mens den høyeste gjelder for mørk taktekning	Takfolie, $s_d=20$ m: 0,2 – 0,3 l/m ² år Asfalt takbelegg, $s_d=200$ m: 0,02 – 0,03 l/m ² år
	Diffusjon -vertikalt nedover	Damptrykk-forskjell mellom inne i taket og inneluft	Temperaturforskjell mellom ute og inne pga soloppvarming. Dampspærre med en viss dampåpenhet.	Mørk taktekning gir større uttørking enn lys tekning fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming	PE-folie, $s_d=70$ m: 0,01 – 0,04 l/m ² år Dampspærre, $s_d=10$ m: 0,1 – 0,3 l/m ² år Dampbrems $s_d=2$ m: 0,5 – 1,2 l/m ² år
	Diffusjon -sideveis mot takkanten	Damptrykk-forskjell mellom inne i taket og uteluft	Temperaturforskjell mellom inne i taket og ute. Dampåpne og luftede overflater ved takkant.	Mørk taktekning gir større uttørking enn lys tekning fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming Uttørkingen er størst nærmest takkanten	Mineralull, $\mu = 1$, Vindspærre, $s_d < 0,5$ m: $< 0,06$ l/m ² år EPS, $\mu = 30$, Vindspærre, $s_d < 0,5$ m: $< 0,004$ l/m ² år

	Mekanisme	Drivkraft	Betingelser	Kommentarer	Mulig uttørkingsevne
2 Gjennomstrømning, ute – ute	Luftgjennomstrømning - uteluft fra takkant til takkant	Vindtrykk-forskjell mellom to takkanter	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt eller luftkanaler. Utettheter, luftespalter eller ventiler ved takkantene Tett dampsperre Varmere inne enn ute	Kan gi oppfukning ved klar nattehimmel Størst uttørkingsevne når solen varmer opp taket	Uten luftkanaler i isolasjonen: ca. 0,1 l/m ² år Med luftkanaler i isolasjonen: ca. 2 - 20 l/m ² år
	Luftgjennomstrømning - uteluft fra takkant til ventiler på taket	Trykkforskjell mellom takkanter og ventiler på takflaten på grunn av termisk oppdrift og vindtrykk	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt eller luftkanaler. Utettheter, luftespalter eller ventiler ved takkantene. Ventiler på takflaten. Tett dampsperre. Varmere inne enn ute.	Kan gi oppfukning ved klar nattehimmel Størst uttørkingsevne når solen varmer opp taket	Uten luftkanaler i isolasjonen: ca. 0,1 l/m ² år Med luftkanaler i isolasjonen: ca. 2 - 20 l/m ² år
3 Gjennomstrømning, ute - inne	Luftgjennomstrømning - uteluft fra takkant til inneluft	Trykkforskjell mellom ute og inne på grunn av undertrykks-ventilasjon eller vindtrykk	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt. Utettheter ved takkantene. Utett dampsperre. Ev. motstrømstak.	Ev. motstrømstak krever prosjekterte strømnings-motstander. Gir forvarmet tilluft	Stor uttørkingsevne, mange l/m ² år
	Luftgjennomstrømning - uteluft fra takflate til inneluft	Trykkforskjell mellom ute og inne på grunn av undertrykks-ventilasjon	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt. Ventiler på takflaten. Utett dampsperre. Ev. motstrømstak.	Ev. motstrømstak krever prosjekterte strømnings-motstander. Gir forvarmet tilluft	Stor uttørkingsevne, mange l/m ² år
4 Gjennomstrømning, inne – ute	Luftgjennomstrømning - inneluft til uteluft via utettheter ved takkantene	Trykkforskjell mellom inne og ute på grunn av termisk oppdrift, vindtrykk eller overtrykks-ventilasjon.	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt. Utettheter ved takkantene. Tett dampsperre. Lavt fukttilskudd.	Klar risiko for oppfukning i perioder, spesielt vinters tid, og ved fukttilkudd > 1 g/m ³	Avhengig av fukttilskudd i inneluften, $\Delta v=4 \text{ g/m}^3$: oppfukning 2,5 l/m ² år $\Delta v=2 \text{ g/m}^3$: oppfukning 0,5 l/m ² år $\Delta v=1 \text{ g/m}^3$: uttørking 0,7 l/m ² år
	Luftgjennomstrømning - inneluft til uteluft via ventiler på takflaten	Trykkforskjell mellom inne og ute på grunn av termisk oppdrift, vindtrykk eller overtrykks-ventilasjon.	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt. Ventiler på takflatene. Utett dampsperre. Lavt fukttilskudd.	Klar risiko for oppfukning i perioder, spesielt vinters tid, og ved fukttilkudd > 1 g/m ³	Avhengig av fukttilskudd i inneluften, $\Delta v=4 \text{ g/m}^3$: oppfukning 2,5 l/m ² år $\Delta v=2 \text{ g/m}^3$: oppfukning 0,5 l/m ² år $\Delta v=1 \text{ g/m}^3$: uttørking 0,7 l/m ² år

	Mekanisme	Drivkraft	Betingelser	Kommentarer	Mulig uttørkingsevne
5	Luftveksling -med uteluft eller inneluft	Variierende barometertrykk	Ventiler eller utettheter i dampsperrsjiktet eller ved takkantene. Selv i godt utførte tak er det normalt mer enn nok utettheter til å slippe luft ut og inn av taket	Gir uttørking først og fremst nær utetthetene, f. eks. nær ventiler eller utette takkanter	0,03 - 0,06 l/m ² år
	Luftveksling -med uteluft eller inneluft	Variierende middel- temperatur	Ventiler eller utettheter i dampsperrsjiktet eller ved takkantene. Selv i godt utførte tak er det normalt mer enn nok utettheter til å slippe luft ut og inn av taket	Gir uttørking først og fremst nær utetthetene, f. eks. nær ventiler eller utette takkanter	0,01 - 0,05 l/m ² år
6	Naturlig konveksjon inne i taket -sideveis transport av fukt mot takkanten	Termisk oppdrift inne i isolasjons- sjiktet i taket	Temperaturforskjell mellom inne og ute. Dampåpne og luftede overflater ved takkant. Luftåpen, lett mineralull og luftspalte eller luftkanaler i over- og underkant av isolasjonen samt ved takkantene. Lufttett dampsperre, tekning og takkanter.	Strømnings-motstanden må tilpasses nøye slik at økningen i varmetapet ikke blir uakseptabelt stor. Kan bidra til å flytte fukt sideveis ut til dampåpne takkanter.	Uavklart uttørkingsevne
7	-Diffusjon og/eller -konveksjon oppover, -kondensering på en naturlig kald flate like under tekningen	Damptrykk- forskjell inne i taket og kapillærkraft/ tyngdekraft ut av taket	En filt med kapillær transportevne ved en naturlig periodevis kald flate i det isolerte takrommet.	Vann ledes ut av taket til underliggende rom. Vannet kan fordampe til inneluften eller føres til avløps-ledning.	Uavklart uttørkingsevne
	-Diffusjon nedover og -kapillær transport av kondens gjennom dampsperran	Damptrykk- forskjell inne i taket og kapillærkraft/ tyngdekraft ut av taket	Temperaturforskjell mellom ute og inne pga soloppvarming Dampsperre med kapillær transportevne. Dampåpen himling	Eksempel: Hygrodiode. Vannet fordamper gjennom himlingen til rommet under	Uavklart uttørkingsevne
	-Diffusjon og/eller -konveksjon og -kondensering på en flate som kjøles ned kunstig, f. eks. ved hjelp av et peltierelement.	Damptrykk- forskjell inne i taket og kapillærkraft/ tyngdekraft ut av taket	En filt eller veke med kapillær transportevne fra en kjøleflate i det isolerte takrommet.	Vann ledes ut av taket til under-liggende rom hvor det kan fordampe til inneluften eller føres til avløps-ledning. Kan være en nød løsning ved spesielle forhold.	Uavklart uttørkingsevne
8	-Vann som strømmer nedover gjennom åpninger mellom materialer eller i materialer med åpen porestruktur	Tyngdekraft	Isolasjon med åpen porestruktur og/eller åpninger mellom isolasjonsplater Dampsperre med kapillær transportevne. Dampåpen himling eller dampsperre med fall mot sluk eller til drenering via vegg	Eksempel: Vann som dreneres ut av taket på oversiden av dampsperran, eller gjennom utettheter dampsperre/himling	Stor så lenge dampsperran har fall og det er fritt vann i taket

3 Diffusjon

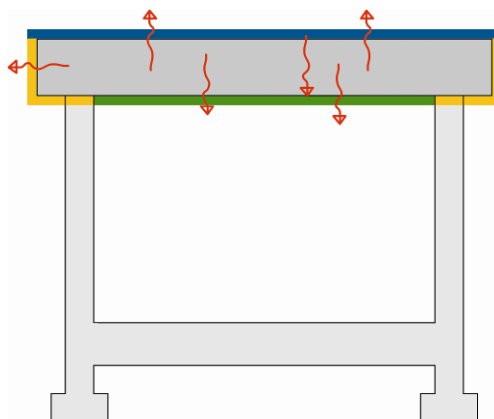
3.1 Generelt

Drivkraften for damptransport ved diffusjon er forskjeller mellom vandampkonsentrasjon inne i taket og utenfor. Drivkraften kan også angis som forskjell i damptrykk. Vandamp transporteres fra steder med høy dampkonsentrasjon til steder med lavere konsentrasjon. Vandamptransporten er proporsjonal med konsentrasjonsgradienten og tverrsnittsarealet transporten går gjennom, og omvendt proporsjonal med materialenes samlede motstand mot å slippe gjennom vandamp. Motstanden mot vandampdiffusjon omtales vanligvis som vandampmotstanden.

I denne rapporten bruker vi s_d -verdi (diffusjonsekvivalent luftlagtykkelse) som mål på vandampmotstanden til et materialsjikt. Hvis et materialsjikt for eksempel har en s_d -verdi på 0,5 m betyr det at materialsjiktet har samme motstand mot vandampdiffusjon som et 0,5 m tykt stillestående luftlag.

For materialer med en viss tykkelse brukes μ -verdien som mål på vandampmotstand. μ -verdien er et relativt mål og angir et materiales vandampmotstand i forhold til vandampmotstanden til et stillestående luftlag med samme tykkelse.

Selvuttørkingsevne ved diffusjon for noen alternative kompakte tak er tidligere undersøkt ved beregninger med programmet WUFI 2D og omtalt i egen rapport [5].



Figur 3.1

Fukttransport ut av taket ved diffusjon gjennom taktekning, dampsperre og takkantene

3.2 Diffusjon ut gjennom taktekningen

Mange takbelegg har så stor dampmotstand at uttørkingsevnen ved diffusjon fra taket og ut gjennom tekningen er minimal. De mest dampette er belegg av butyl. De har dampmotstand, angitt som s_d -verdi, opp til ca 600 m. Asphalt takbelegg har gjerne s_d -verdi mellom 100 m og 300 m. Takfolier av PVC er mer åpne, med s_d -verdi mellom 15 m og 40 m, og har derfor en viss evne til å slippe ut fukt ved diffusjon. Se tabell 2.

3.3 Diffusjon fra taket og ned gjennom dampsperre/dampbrems

I Byggforskerien anbefaler vi at materialsjikt som skal brukes som dampsperre i vanlige bygninger bør ha en dampmotstand, angitt som s_d -verdi, på 10 m eller mer. Vanligvis brukes PE-folie med tykkelse 0,15 – 0,20 mm som har s_d -verdi mellom 70 og 100 m. Det betyr at uttørkingen ved diffusjon nedover, fra taket og gjennom vanlige dampsperrer, er svært begrenset.

Det finnes imidlertid dampsperrer med selvregulerende dampmotstand som kan slippe gjennom fukt ved diffusjon fra taket til rommet under. Dette er dampsperrer av spesialutviklet plast som ”åpner seg” når plasten blir fuktig nok, mens den har stor nok dampmotstand til å redusere diffusjonen innenfra og opp i takkonstruksjonen under normale, tørre inneforhold. Disse dampsperrereypene er ikke egnet i bygninger med høy luftfuktighet som svømmehaller og badeanlegg.

En annen type dampsperre som også kan slippe gjennom fukt fra taket og ned til rommene under er Hygrodiode. Hygrodiode består av en filt med spesielle striper av plastfolie på oversiden og en perforert plastfolie på undersiden. Den har en oppgitt s_d -verdi på ca. 20 m i tørr tilstand og ca. 1 m i fuktig tilstand. Filten transporterer vann sideveis ved kapillærkrefter noe som betinger at det er fritt vann til stede på dampsperreren, for eksempel sommerkondens. I den nyeste utgaven av Hygrodiode er det imidlertid brukt en spesiell plastfolie som åpner seg for diffusjon ved høy luftfuktighet og derfor gir en viss uttørkingsevne også uten at det er fritt vann på oversiden.

”Dampbrems” er en betegnelse som brukes om sperresjikt som har lavere dampmotstand enn dampsperrer men som har større dampmotstand enn vindsperrer. Ved å bruke et slikt sperresjikt på varm side av isolasjonen i stedet for en vanlig dampsperre vil noe fukt kunne tørke ut av taket ved diffusjon nedover til rommene under. Det betinger imidlertid at det absolute vanndampinnholdet i luften i taket er høyere enn i rommene under. Det kan være tilfelle i perioder sommers tid spesielt for tak med fuktige materialer nær en tekning som er oppvarmet av sola. Om vinteren er det vanligvis omvendt. Da vil dampkonsentrasjonen være lavest ved den kalde takflaten og fukten i taket vil diffundere dit. Når denne fuktfordelingen er ferdig vil dampkonsentrasjonen være tilnærmet den samme i hele isolasjonstverrsnittet og tilnærmet like lav som metningskonsentrasjonen rett under taktekningen. Vinters tid vil det derfor vanligvis være en tilførsel av fukt ved diffusjon fra innelufta og opp gjennom en dampbrems og til taket.

3.4 Diffusjon ut ved takkantene

Kanten av taket, gesimsen eller parapeten, kan utføres med dampåpne materialer som er dekket av en luftet kledning. Det vil gi tak med damptett tekning og tradisjonell dampsperre en viss uttørkingsevne ved diffusjon ”sideveis” ut av taket ved kantene. For å kunne utnytte denne uttørkingmuligheten må taket må være isolert med dampåpen isolasjon, dvs. mineralull, som må gå kontinuerlig helt ut til vindsperreren i parapeten/gesimsen.

Uttørking sideveis er først og fremst til hjelp for små eller smale tak med forholdsvis kort vei ut til takkanten. For store tak blir veien fra midten og ut til takkanten lang og tverrsnittet lite slik at uttørkingen vil gå svært sent. Randsonen av taket, fra takkanten og noen få meter innover vil imidlertid kunne tørke raskt nok ut på denne måten også for store tak. Der gesimsen bæres av utragende treverk som stikker et stykke inn i taket, kan en dampåpen underside av gesimsen sikre nok uttørking til å hindre at treverket blir svekket av råte. Undersiden av gesimsen må imidlertid alltid beskyttes mot kaldluftinntregning ved hjelp av en vindsperre. Denne vindsperreren bør ha lavest mulig dampmotstand.

4 Gjennomstrømning av uteluft

4.1 Betingelser for uttørking

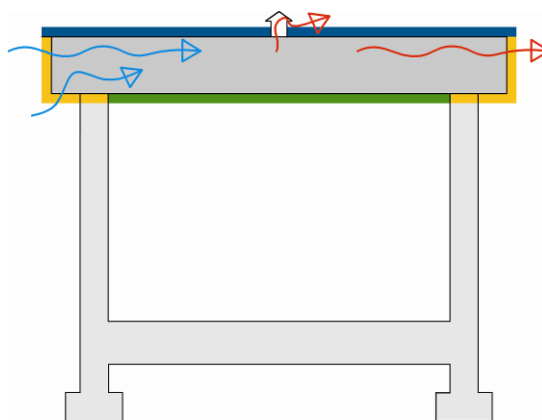
Luftgjennomstrømning gjennom tak kan medføre både oppfukning og uttørking av takkonstruksjonen. For at luftgjennomstrømning skal gi uttørking må det absolutte fuktinnholdet, vandampkonsentrasjonen, være høyere i luften som strømmer ut av taket enn i luften som strømmer inn.

For at det skal strømme luft gjennom takkonstruksjonen må det være trykkforskjell mellom inn- og utløpsåpninger i taket. Det er trykkforskjellen mellom inn- og utløp som er drivkraften for luftgjennomstrømningen.

I tillegg må taket ha en viss evne til å slippe igjennom luft. Taket må enten ha isolasjon med en viss luftgjennomslipelighet, luftpermeabilitet, eller taket må ha kanaler i isolasjonssjiktet som luften kan strømme igjennom.

Størrelsen på luftgjennomstrømningen vil være bestemt av drivkraften for strømmingen, som er samlet trykkforskjell mellom inn- og utløp, og av samlet strømningsmotstand i taket, fra innløp til utløp.

Gjennomstrømning av uteluft gjennom taket vil innebære et ekstra varmetap. For å begrense varmetapet bør derfor luftgjennomstrømningen ikke være større enn det som er nødvendig for å få ønsket uttørking. Eventuelle kanaler i isolasjonen må legges langt ut mot kald side for å begrense varmetapet.



Figur 4.1
Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute

4.2 Drivkrefter for luftgjennomstrømning

Trykkforskjeller kan oppstå av naturlige årsaker som vind og naturlig oppdrift som følge av temperaturforskjeller. Nødvendig trykkforskjell kan også skapes ved hjelp av vifter. Endring i lufttemperaturen i taket og endring i barometertrykket vil også gi trykkforskjeller og strømming av luft inn eller ut av taket, se kapittel 6.

4.3 Oppdriftstrykk

Oppdriftstrykk, også kalt skorsteinseffekt, får en når densiteten til luften i taket er forskjellig fra densiteten til luften utvendig eller innvendig for taket. Forskjeller i densitet oppstår som følge av forskjellig temperatur. For å få luftgjennomstrømning på grunn av oppdriftskrefter må det i tillegg være høydeforskjell mellom innløps- og utløpsåpningene til taket. Drivtrykket vil være

tilnærmet proporsjonalt både med temperaturforskjellen og med høydeforskjellen mellom inn- og utløpsåpningene.

En tilnærmet beregning av oppdriftstrykket kan gjøres med formelen:

$$\Delta p = 0,04 \Delta\theta \Delta h$$

Δp = oppdriftstrykk [Pa], trykkforskjell på grunn av temperaturforskjell mellom luften i taket og luften utenfor

$\Delta\theta$ = temperaturforskjell [K]

Δh = høydeforskjell mellom utløp og innløp [m]

4.4 Vindtrykk

Vindhastighetene som er brukt ved beregningene, er vist i diagram i vedlegg 5. Det er månedsmiddelverdier basert på verdier for månedene oktober, januar, april og juli fra [6]. Verdiene for mellomliggende måneder er bestemt ved interpolering.

Vindtrykkforskjellen vil være bestemt av vindhastigheten og forskjellen i vindtrykkfaktor ved inn- og utløpsåpningene. Vindtrykkfaktorene, eller formfaktorer som de også benevnes, varierer mye med den geometriske utformingen av bygningen og taket samt med plassering og orientering av åpningene. De varierer i tillegg mye med vindretningen, fra å være positive ved takkanten mot vinden (lo side) til å være negative ved de øvrige takkantene.

Vindtrykket og vindtrykkfaktorene varierer også langs åpningene. Det har derfor vært nødvendig å gjøre visse forenklinger for å kunne gjennomføre beregninger med vindtrykk som drivkraft. Vi har brukt en midlere vindtrykkfaktor for hele spalteåpningen for hver av de to motstående sidene av bygningen. Målinger Byggforsk har utført tidligere på et dreibart hus med saltak på Tyholt i Trondheim [7] viste at vindtrykkfaktoren oppe ved raft var ca. 0,8 når vindretningen var midt mot veggen mens den var ca. -0,2 (vindsug) når vindretningen var midt mot motstående langvegg. Mellom disse vindretningene varierte vindtrykkfaktoren tilnærmet lineært med vindretningen. Det betyr at forskjellen mellom vindtrykkfaktorene på lo og le side av bygningen ($c_{lo} - c_{le}$) varierte mellom 1,0 og 0 med en middelvei for alle vindretninger på 0,5. Vindtrykkfaktorene ved parapet eller gesims på et flatt tak vil være forskjellige fra vindtrykkfaktorene rundt et mønt tak. Vindtrykkfordelingene vil også være forskjellig rundt store bygninger sammenlignet med fordelingen rundt en liten bygning. I mangel på sikrere verdier har vi likevel valgt å bruke en forskjell på 0,5 mellom vindtrykkfaktorene ved inn- og utløp i beregningene vi viser resultater fra i denne rapporten.

Lokalt på oversiden av takkanten, for eksempel på oversiden av en parapet og innover taket nærmest parapeten, kan det bli stort undertrykk som følge av vind, spesielt ved parapeten ved lo side, men en kan forvente undertrykk også ved parapeten på le-side av taket. Ved å lokalisere ventilåpningene til taket til sugsonen ved parapetene kan en i prinsippet få effektiv luftgjennomstrømming i et luftspaltesystem i taket og samtidig redusere faren for avblåsning av tekningen ettersom det vil bli et sug under tekningen. Se skisse til en mulig parapetutforming i figur 4.4.

Ved detaljerte studier av aerodynamiske forhold ved utformingen av parapet og parapetbeslag, i numerisk eller fysisk modell, kan utluftingsmulighetene via parapetene utvikles ytterligere.

Vindtrykkforskjellen mellom inn- og utløp beregnes etter uttrykket

$$\Delta p = \Delta c p_d$$

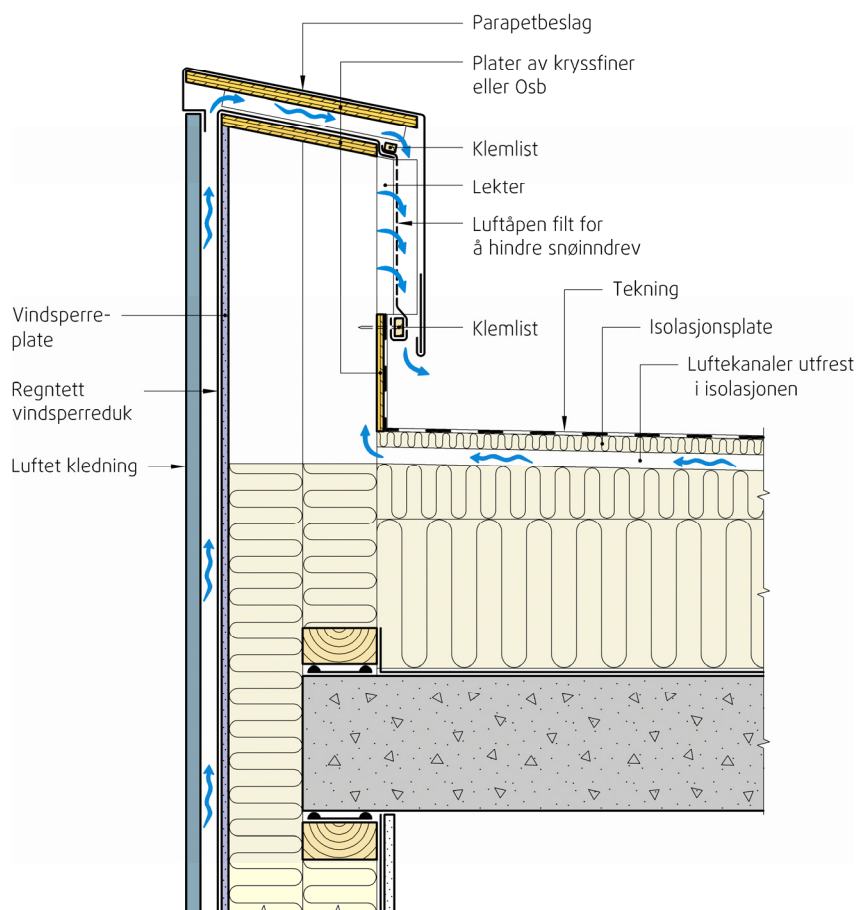
Δp = vindtrykkforskjell [Pa]

$\Delta c = c_i - c_e$, forskjell mellom vindtrykkfaktorene ved innløp og utløp (lo- og le-side)

$p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$, dynamisk vindtrykk [Pa]

ρ = luftens densitet [kg/m^3]

v = vindhastighet 10 m over bakken [m/s]



Figur 4.4

Mulig utforming av en parapet med lufteråpninger til luftespalter i takisolasjonen. Lufteråpningen, som er på taksiden av parapeten, er dekket med en luftåpen filt for å hindre inndrev av nedbør.

4.5 Strømningsmotstand

Strømningsmotstanden vil være bestemt av størrelse og utforming av inn- og utløpsåpningene til taket og isolasjonens luftpermeabilitet. Strømningsmotstanden kan variere i taket og luftgjennomstrømningen vil være størst der motstanden er minst. Det betyr at luftgjennomstrømningen vil bli konsentrert til eventuelle spalter mellom isolasjonsplatene og spalter mellom isolasjonen og henholdsvis himling/dampsperre og tekning.

I tak med kanaler i isolasjonssjiktet vil strømningsmotstanden være mye mindre enn i tak med homogen isolasjon. Det aller meste av strømmingen vil foregå i kanalene.

Strømningsmotstanden inne i taket vil hovedsakelig være bestemt av antall kanaler og av kanalenes tverrsnitt, lengde og antall retningsendringer og tverrsnittsendringer.

4.6 Luftfuktighet og temperatur

Luftas evne til å ta opp fukt i form av vanndamp øker med temperaturen. Det maksimale vanndampinnholdet som lufta kan inneholde, metningskonsentrasjonen, blir omtrent doblet for hver gang temperaturen øker med 10 °C. Av samme grunn må vanndampmettet luft kvitte seg med ca. halvparten av vanndampinnholdet for hver gang temperaturen reduseres med 10 °C. Denne forenklingen gjelder med god tilnærming for temperaturer fra +30 °C og nedover. Temperaturendringen til lufta som strømmer gjennom taket er derfor avgjørende for om luftgjennomstrømningen skal gi uttørring eller i verste fall oppfukning og for hvor stor fukttransporten blir.

Vi kan illustrere det med et eksempel. Uteluft med temperatur 0 °C vil kunne inneholde opp til ca. 5 g/m³. Hvis luftas relative luftfuktighet (RF) er 80 % inneholder lufta 80 % av det den maksimalt kan inneholde ved den temperaturen. Det blir ca. 4 g/m³ (0,8 x 5). Hvis denne uteluften strømmer gjennom et tak med våte materialer eller over fritt vann vil lufta bli oppfuktet til 100 % RF. Hvis temperaturen forblir uendret vil fuktinnholdet i luften ha økt til ca. 5 g/m³ når luften strømmer ut av taket. Selv uten å øke lufttemperaturen vil altså luftstrømmen i dette tilfellet kunne transportere bort ca. 1 g pr m³ luft som strømmer gjennom taket. Hvis det er våte materialer eller fritt vann i taket og lufta varmes opp 10 °C på veien, kan luftas fuktinnhold dobles til 10 g/m³ og luftstrømmen kan dermed transportere ytterligere 5 g/m³ ut av taket, til sammen 6 g vanndamp pr. m³ luft som strømmer gjennom taket.

4.7 Fuktfordeling i taket

I et fuktig kompakt tak vil fuktfordelingen endre seg når temperaturfordelingen i taket endrer seg. Generelt vil fukt flytte seg ved diffusjon fra steder med høyere dampkonsentrasjon til steder med lavere dampkonsentrasjon. I fuktige tak vil det i praksis si fra varm til kald side. Naturlig konveksjon i luftpermeabel isolasjon, som for eksempel mineralull, vil bidra til at denne fuktomfordelingen går raskere.

Utover høsten når utetemperaturen synker vil fukten flytte seg oppover og samle seg under tekningen i form av kondens eller rim og is. Denne omfordelingen vil pågå så lenge vanndampkonsentrasjonen er ulik i ulike deler av taket. Etter en tid med stabile temperaturforhold utover høsten og vinteren vil denne forflytningen være ferdig og fuktfordelingen vil være i likevekt. Vanndampkonsentrasjonen i luften vil da være omtrent lik i hele takets høyde og være tilnærmet lik metningskonsentrasjonen for den laveste temperaturen i taket. Vinters tid, før sola varmer opp taket, er det kaldest rett under tekningen.

På ettervinteren når sola varmer opp taktekningen om dagen vil temperaturfordelingen, vanndampinnholdet i taket og fukttransporten veksle mye over døgnet. Fukttransporten inne i taket vil da gå nedover om dagen når sola varmer opp taket og gå oppover igjen om natta når taktemperaturen faller igjen. Ved værromslag fra minusgrader til plussgrader ute vil eventuelt rim og is som har samlet seg på undersiden av tekningen smelte og renne ned i isolasjonen og eventuelt helt ned på dampspærren igjen.

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 så vil det meste av fukten holde seg ved taktekningen og i den kaldeste delen av isolasjonen. I perioder når bare deler av taket er dekket av snø vil fukt bli omfordelt sideveis. Når de snøfrie delene av taket blir oppvarmet av sola vil fukt flyttes ved diffusjon fra de oppvarmede snøfrie områdene til de områdene som er dekket av snø og derfor er kaldere. Ved klar nattehimmel kan områdene med snø være varmest og fukttransporten vil da gå motsatt vei. Eventuell luftstrømning gjennom taket vil motvirke eller forsterke denne sideforflytningen av fukt i taket.

Når taket blir helt snøfritt vil soloppvarming av taktekningen føre til at fukten diffunderer nedover gjennom isolasjonen mot dampsperran igjen og det gjennomsnittlige fuktinnholdet i luften i taket vil øke igjen.

4.8 Uttørking eller oppfukting?

Uttørkingshastigheten ved luftgjennomstrømningen er vanligvis minst i den kaldeste og solfattigste delen av vinteren fordi vanndampkonsentrasjonen i luften da er lavest. Da er tilgjengelig temperaturen så lav at faren for muggvekst er liten.

Det er spesielt om våren og sommeren når taket blir oppvarmet av sola at uttørking ved gjennomstrømning av uteluft kan gi rask uttørking. På dager med soloppvarming av taket kan temperaturen på tekningen bli 30- 40 °C høyere enn i uteluften, se figur V6.4 i vedlegg 6. Da kan en få en vesentlig mer effektiv uttørking ved luftstrømning gjennom taket sammenlignet med uttørkingen på en overskyet dag. I teorien kan 1 m³ uteluft som strømmer gjennom taket transportere ut mer enn 100 g vanndamp en varm og solrik sommerdag. Se figur V6.7. Figuren er basert på målte temperaturer og RF fra SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim.

I netter med klar himmel eller lett skydekke kan taktekningens temperatur bli flere grader lavere enn utelufttemperaturen. Se figur V6.4. Luft som strømmer inn i taket og stryker undersiden av tekningen blir da avkjølt. Hvis luften blir avkjølt til under luftens duggpunkttemperatur, vil luften avgi fukt inne i taket i form av kondens eller rim på undersiden av taktekningen.

Det er det samme som skjer når det kondenserer eller rimer på oversiden av taktekningen og andre utvendige flater som er blitt kaldere enn uteluften. Takflaten er kaldere enn luften som følge av at takflaten stråler ut mer varme enn den mottar fra den kalde himmelen.

Temperaturmålinger som SINTEF Byggforsk har utført på forsøkshuset vårt på Voll i Trondheim, tyder på at overflatetemperaturen på tak kan være lavere enn utelufttemperaturen i store deler av året. Se figur V6.5. Temperaturforskjellen mellom luften og tekningen blir mindre når vindhastigheten øker ettersom den konvektive varmeoverføringen fra luften til taktekningen da vil øke. Målingene fra Voll i Trondheim viser imidlertid at temperaturen på tekningen kan være lavere enn lufttemperaturen selv ved vindhastigheter over 5 m/s. Se figur V6.6.

Vindhastigheten påvirker fukttransporten på to måter. Når temperaturen på tekningen er lavere enn uteluftens duggpunkttemperatur, vil uteluft som strømmer gjennom taket på undersiden av tekningen, tilføre fukt til taket. Så lenge vindhastigheten er lav vil oppfuktingen øke med økende vindhastighet. Det skyldes at luftgjennomstrømningen øker. Temperaturforskjellen mellom luften og taktekningen vil samtidig avta med økende vindhastighet noe som vil virke dempende på oppfuktingshastigheten. I teorien vil oppfuktingshastigheten derfor nå en maksimalverdi ved en viss vindhastighet for så å avta med en videre økning av vindhastigheten. Hvis temperaturen på tekningen kommer over luftens duggpunkttemperatur, kan luftgjennomstrømningen gi uttørking igjen. Vindhastigheten vil påvirke uttørkingshastigheten på tilsvarende måte når taktemperaturen er høyere enn duggpunkttemperaturen inne i taket.

Det er også fare for oppfukting når det er vindstille og luftgjennomstrømningen er drevet av oppdriftskrefter på grunn av temperaturforskjeller. Det er imidlertid bare tak med høydeforskjell mellom innløp- og utløpsåpninger, som skrå tak eller tak med lufttelyrer, som er utsatt for naturlig luftgjennomstrømning i vindstille vær.

Faren for oppfukting er aller størst for mekanisk ventilerte tak. Hvis viftene går når tekningen er kaldere enn uteluften, kan det føre til betydelig fukttilførsel til taket. Vi fraråder derfor bruk av vifter som permanent løsning for ventilering av tak. Bruk av vifter kan imidlertid være aktuelt for å tørke ut taket etter en fuktskade. Da er det avgjørende at en har nøye kontroll med at luften

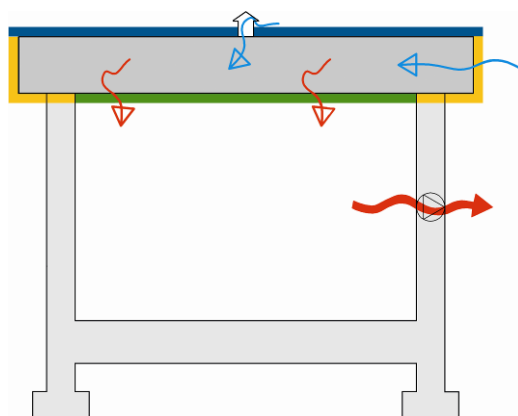
som strømmer ut har høyer absolutt fuktinnhold enn luften som blåses inn. For tak betyr det i praksis at viftene bare bør gå når taktemperaturen er en del høyere enn utelufttemperaturen.

Luft som strømmer gjennom taket litt nede i isolasjonen vil ikke bli like mye avkjølt og faren for oppfukning vil være mye mindre. Med luftkanaler plassert litt ned i taket, slik at det er noen cm isolasjon mellom kanalene og tekningen, blir faren for oppfukning vesentlig redusert.

Som det framgår av figurene V6.7 – V6.14 vil uttørkingsevnen ved luftgjennomstrømming være langt større enn oppfukningsevnen året sett under ett.

4.9 Motstrømstak

Motstrømstak er en takkonstruksjon hvor tilluften for ventilasjon av bygningen suges ned gjennom isolasjonen i taket. Luften blir da oppvarmet på veien ned gjennom isolasjonen av transmisjonsvarme som ellers vil gå motsatt vei, opp og ut av taket. Varmestrømmen ut av taket kan på denne måten reduseres betydelig samtidig som tilluften, som strømmer ned fra himlingen, får tilnærmet innnetemperatur. Løsningen har vært mye brukt i idrettshaller i Sverige og Finland, men i mindre grad i idrettshaller i Norge. Her til lands har motstrømstak vært brukt i landbruksbygg. Når uteluft strømmer ned gjennom isolasjonen blir luften oppvarmet og får dermed stor evne til å ta opp fukt. Luftstrøm utenfra og ned gjennom takisolasjonen gir derfor en effektiv uttørking av taket. Luftstrømmen hindrer samtidig oppfukning fra innelufta selv i rom med høy luftfuktighet.



Figur 4.3

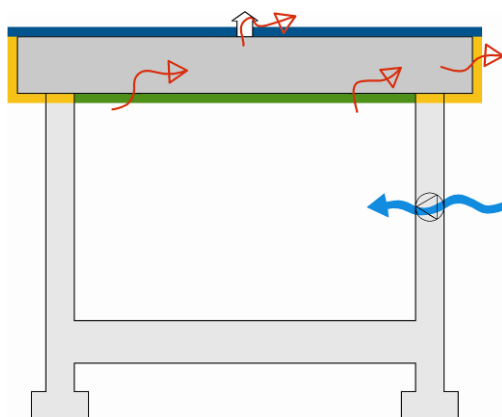
Motstrømstak. Tilluften for ventilering av bygningen suges ned gjennom takisolasjonen. Luften blir oppvarmet på veien gjennom isolasjonen og får derfor stor uttørkingsevne.

5 Gjennomstrømning av inneluft

5.1 Betingelser for uttørking

Betingelsene for at gjennomstrømning av inneluft skal gi uttørking er i prinsippet de samme som for gjennomstrømning av uteluft. Hovedprinsippene som er beskrevet i kapittel 4 gjelder derfor også når tillufta kommer innenfra. Hovedforskjellen ligger i at inneluft vanligvis inneholder mer fukt enn uteluft. Faren for at luftgjennomstrømningen skal gi oppfukning i stedet for uttørking er derfor klart større ved gjennomstrømning av inneluft enn ved gjennomstrømning av uteluft. I praksis er det derfor bare i bygninger med spesielt lavt fukttilskudd og hvor en har full kontroll med fukttilskuddet, at luftstrøm innenfra bør brukes bevisst for uttørking av tak.

Fukttilskuddet inne i en bygning er definert som forskjellen mellom absolutt fuktinnhold i inneluft og uteluft og angis i g/m^3 . Fukttilskuddet i en bygning er bestemt av hvor mye fukt som tilføres bygningen i forhold til hvor mye som transporteres ut med ventilasjonsluften. Det er derfor bare i bygninger med rikelig ventilasjon i forhold til fukttilførselen at denne formen for uttørking av tak bør brukes. Det kan være i produksjonslokaler med minimal fukttilførsel eller i kontorbygg med rikelig og døgkontinuerlig ventilasjon.



Figur 5.1

Luftstrøm innenfra og opp gjennom taket kan gi uttørking i bygninger med ekstra lav luftfuktighet som følge av lavt fukttilskudd. Det krever rikelig ventilasjon i forhold til fukttilførselen. Risikoen for oppfukning av taket kan imidlertid være stor i bygninger med normal eller mangelfull ventilasjon.

5.2 Fare for oppfukning

Luftstrøm innenfra og opp gjennom utettheter i taket, luftlekkasjer, kan i stedet for uttørking gi stor oppfukning av taket. Det er en vanlig årsak til fuktskader i tak i mangelfullt ventilerte boliger og i bygninger med spesielt høyt fukttilskudd som svømmehaller og spesielle produksjonslokaler med høy luftfuktighet.

Med mindre det er spesielt lavt fukttilskudd inne anbefaler vi fortsatt å planlegge og utføre dampsperrsjiktet så lufttett som mulig for å begrense luftlekkasjene innenfra og opp gjennom taket til et minimum. Vi har gjort noen beregninger av luftgjennomstrømning hvor tillufta til taket kommer innenfra for å vise hvor lavt fukttilskuddet må være for at luftgjennomstrømningen skal kunne gi uttørking av taket. Se figurene V2.4 – V2.6 i vedlegg 2.

Det er en tilsvarende sammenheng mellom fukttilskudd og faren for oppfukning ved lekkasjer innenfra og opp gjennom taket.

Som omtalt i kapittel 4 er det temperaturen lufta har når den strømmer ut av taket som bestemmer hvor mye fukt den kan ta med seg ut. Både oppfukning og eventuell uttørking vil

derfor være sterkt påvirket av strømningsveien. For å redusere faren for utfelling av fukt ved utløpet fra taket, bør ”strømningskanalen” være isolert hele veien slik at luften beholder temperaturen helt fram til der luften forlater taket.

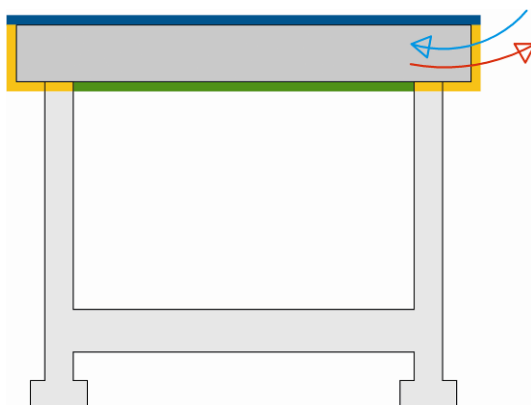
6 Luftutveksling

6.1 Varierende temperatur i taket

Når temperaturen i taket endres, vil luften i isolasjonens porer og andre hulrom endre volum. Ved økende temperatur utvider luften seg og noe luft vil da strømme ut av taket. Når temperaturen synker igjen vil luften trekke seg sammen og det vil strømme luft inn i taket igjen. Siden lufttemperaturen inne er forholdsvis konstant i bygninger, er det variasjonene i lufttemperaturen på tekningen som forårsaker de store temperaturvariasjonene i taket. Hvis lufta som strømmer ut av taket har høyere fuktinnhold enn den lufta som strømmer inn igjen, vil denne luftvekslingen medføre en uttørking. Hvis det er fritt vann i taket vil luften som strømmer ut normalt være fuktigere enn lufta som strømmer inn.

Selv om sperresjiktene i taket er svært godt utført, med gode skjøter og avslutninger mot andre bygningsdeler, vil taket i praksis ikke være helt lufttett. De forholdsvis små luftmengdene det her er snakk om vil slippe inn og ut av taket uten at det blir stort overtrykk eller undertrykk i taket. Det har imidlertid betydning hvordan utetthetene taket er fordelt. Hvis det er mest utettheter mot ute vil det meste av luftvekslingen i taket skje mot uteklima. Er derimot dampsperrsjiktet mer utett en taktekningen og takkantene vil det meste av luftvekslingen skje mot inneklima.

Figurene V3.1 – V3.3 i vedlegg 3 viser beregnet uttørking for et tak som følge av varierende utetemperatur avhengig av hvordan utetthetene til taket er fordelt.



Figur 6.1

Luftveksling i taket som følge av vekslende utetemperatur og vekslende barometertrykk. Det vil også strømme inneluft inn og ut av taket. Utetthetsfordelingen for taket vil avgjøre hvor stor del av luftutvekslingen som skjer med uteluft og inneluft.

6.2 Varierende luftrykk, barometertrykk

Det absolute luftrykket, barometertrykket, varierer hele tiden i takt med været. Normaltrykk ved havets overflate er 1013,25 hPa. Luftrykket veksler stort sett mellom noen prosent undertrykk og noen prosent overtrykk. Når luftrykket faller, utvider lufta seg. For hver prosent luftrykket faller, vil en prosent av lufta i taket strømme ut av taket.

Figurene V4.1 – V4.3 i vedlegg 4 viser beregnet uttørking for et tak som følge av varierende luftrykk, avhengig av hvordan utetthetene til taket er fordelt. Når luftrykket stiger, vil det strømme luft inn i taket igjen. Variasjon i barometertrykk gir en tilsvarende fukttransport mellom taket og omgivelsene som temperaturvekslingen omtalt i kapittel 6.1.

7 Drenering

7.1 Dampspærre på plant underlag med fall

Når det er fritt vann i taket vil tyngdekraften trekke vannet nedover mot dampspærren. I tak hvor dampspærren har fall, som for eksempel i saltak, vil vann som kommer ned på dampspærren bli drenert videre ut i veggen. Det forutsetter at eventuelle omleggskjøter i dampspærren er lagt riktig og at det ikke er andre hindringer som stopper vannet. Forutsatt at veggene har god uttørkingsevne kan en viss mengde fukt transporteres fra taket og ut via veggene uten at det nødvendig vis fører til fuktskader.

Drenering kan utnyttes også i flate tak, men det krever at bæresystemet er prosjektert og utført slik at dampspærren får et minimum fall. Dampspærren må legges på et plant underlag med nødvendig fall slik at eventuelt vann ikke bare blir stående på dampspærren men gis anledning til å renne av mot yttervegger eller til planlagte innvendige renner.

Ved å bruke takåser som bæring, kan lukkede takelementer og korrugerte stålplater legges med fall i lengderetningen og muliggjøre effektiv drenering av eventuelt vann som er kommet inn i taket.

Det er først og fremst i perioden etter at tekking at en dreneringsmulighet kan være nyttig. Vann som er kommet inn i taket i byggeperioden kan da få renne ut igjen under kontrollerte forhold i stedet for å bli varig innestengt i isolasjon og hulrom i tak med minimal uttørkingsevne. Når byggfukten er drenert ut, kan eventuelle drensåpninger lukkes igjen før bygningen settes i normal drift.

Hvis det danner seg vanndammer inne i tak med horisontal dampspærre blir det lett ukontrollerbare lekkasjer tilfeldig spredt over himlingen. Det fører ofte til improviserte forsøk på å tappe ut vannet ved at dampspærren skjæres i stykker. Selv om en får tappet ut noe vann kan dette være starten på varige fukt- og lekkasjeproblemer for taket. Ettersom slik oppskjæring av dampspærren i praksis er svært vanskelig å reparere vil faren for senere oppfukning ved luftlekkasjer innenfra og opp gjennom taket være store.

Med dampspærre med fall kan en sikre at mengden innebygd fukt i taket blir lav selv om det er mye nedbør i byggeperioden.

8 Strømningsberegninger

8.1 Beregnet uttørking ved luftgjennomstrømning

Fuktforhold og fuktvandring i tak er en dynamisk og komplisert prosess som vil variere i takt med fukt-, temperatur- og vindtrykkforhold rundt taket. I vår beregningsmodell har vi derfor måttet gjøre en del forenklinger. Programmet beregner i utgangspunktet en statisk situasjon med gjennomsnittlig trykkfordeling og luftstrømning i en tidsperiode. Vi har brukt en periode på en måned, men summerer opp resultatene for et helt år. Resultatene etter forrige måned brukes som inngangsverdier ved beregning av neste måned.

Som værdata har vi brukt månedsmiddelerverdien for utetemperatur, relativ luftfuktighet, RF, og vindhastighet. De er vist i diagramform i vedlegg 5.

Temperaturfordelingen i luftespalter i taket er beregnet etter formler (11.4.45) fra [8], men temperaturnivået er korrigert slik at det blir varmeballanse i taket.

Ved hjelp av et egenutviklet regnearkbasert program, se kapittel 1.3, har vi gjennomført en del beregninger for å vise mulig uttørking ved luftgjennomstrømning gjennom tak.

8.2 Resultater fra strømningsberegningene

Resultatene fra strømningsberegningene er gitt i form av diagrammer i vedleggene 1 - 4. En oversikt over figurene med beregningsresultater er vist i tabell 8.2.

Tabell 8.2

Oversikt over figurer med beregningsresultater i vedleggene 1 - 4

Figur nr.	Vedlegg	Figuren viser
V1.1	1	Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull uten kanaler
V1.2	1	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull uten kanaler
V1.3	1	Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull med luftekanaler
V1.4	1	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull med luftekanaler
V1.5	1	Fukttransport inn og ut av taket ved diffusjon og luftgjennomstrømning avhengig av tekningens vanddampmotstand, s_d - verdi.
V1.6	1	Beregnet ekstra varmetap som følge av luftgjennomstrømning, fra ute til ute, avhengig av vindhastigheten. Mineralull med luftekanaler.
V2.1	2	Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull uten luftekanaler
V2.2	2	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull uten luftekanaler.
V2.3	2	Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull med luftekanaler.
V2.4	2	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull med luftekanaler. Fukttillskudd inne 4 g/m ³ .
V2.5	2	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull med luftekanaler. Fukttillskudd inne 2 g/m ³ .
V2.6	2	Fukttinnhold i taket gjennom et år ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull med luftekanaler. Fukttillskudd inne 1 g/m ³ .

Tabell 8.2, forts.

Figur nr.	Vedlegg	Figuren viser
V3.1	3	Beregnet fukttransport til og fra taket på grunn av veksling i utetemperaturen.
V3.2	3	Beregnet netto fukttransport ut av fra taket på grunn av vekslinger i uttemperaturen gjennom et år.
V3.3	3	Beregnet fuktinnhold gjennom et år. Vekslede utetemperatur. Diagrammet er basert på beregnet netto fukttransport fra figur V3.2
V4.1	4	Beregnet fukttransport til og fra taket på grunn av veksling i barometertrykket.
V4.2	4	Beregnet netto fukttransport ut av fra taket på grunn av vekslinger i barometertrykket gjennom et år.
V4.3	4	Beregnet fuktinnhold gjennom et år. Vekslede barometertrykk. Diagrammet er basert på beregnet netto fukttransport fra figur V4.2

9 Temperaturmålinger og teoretisk uttørkingskapasitet

9.1 Generelt

På grunn av strålingsutveksling med himmelen kan taktemperaturen avvike mange grader fra utelufttemperaturen. Det skyldes at strålingen fra himmelen varierer mye med skydekket og mellom dag og natt. I tillegg vil direkte solstråling på taket gi stor temperaturøkning i forhold til uteluften. Forholdet mellom utelufttemperatur og taktemperatur har sammen med relativ luftfuktighet i uteluften, RF, stor betydning for takets uttørkingsevne ved luftgjennomstrømning. Dette er omtalt i kapittel 4.

På grunnlag av tidligere utførte målinger har vi undersøkt hvilke muligheter og begrensninger taktemperaturen og uteluftens temperatur og RF setter for takets uttørkingskapasiteten ved luftgjennomstrømning.

9.2 Temperaturmålinger på Voll i Trondheim

I perioden 1994 til 1998 ble det gjennomført fukt- og temperaturmålinger i 16 veggfelter og i 8 takfelter på SINTEF Byggforsks forsøkshus på Voll i Trondheim. Seks av takfeltene var kompakte tretak. Målte temperaturer fra to av disse takfeltene er analysert. De to takfeltene hadde lik oppbygging bortsett fra at den mørke siden av takfolien vendte opp på det ene feltet (R1), mens den lyse siden vendte opp på det andre feltet (R2). Feltene var plassert på sørenden av taket, med et blindfelt (R0) helt ytterst. Feltene hadde derfor tilnærmet like klimabetingelser både innvendig og utvendig. Bilder av forsøkshuset og takelementene er vist i vedlegg 7. For nærmere beskrivelse av forsøkshuset og øvrige måleresultater, se [9].

Takfeltene hadde følgende oppbygning regnet ovenfra og nedover:

Takfelt R1	Takfelt R2
PVC-takfolie, mørk side opp	PVC-takfolie, lys side opp
22 mm kryssfiner	22 mm kryssfiner
198 mm mineralull/taksperre av tre	198 mm mineralull/taksperre av tre
0,15 mm PE-folie	0,15 mm PE-folie
13 mm gipsplate	13 mm gipsplate

Taktemperaturene som her er analysert ble målt ved hjelp av termoelementer montert mellom takfolien og kryssfinerplaten. Målepunktene var plassert midt mellom to av taksperrene. I tillegg til de mange målepunktene i selve bygningen ble også uteklimate målt ved hjelp av en Vaisala værstasjon like ved forsøkshuset. Utelufttemperatur, relativ luftfuktighet RF og vindhastighet er hentet fra denne stasjonen. Vi har brukt timesmiddelverdier for året 1997 i denne rapporten.

9.3 Beregnet uttørkingskapasitet på grunnlag av temperaturmålingene

På grunnlag av målt temperatur og RF for uteluften, temperatur på takteknningen og valgt RF i lufta når den strømmer ut av taket, har vi beregnet hvor mye fukt luften kan ta opp og frakte ut når den strømmer gjennom taket. Vi har kalt denne mulige uttørkingen for uttørkingskapasitet og angitt den som masse vanddamp pr. volum luft som strømmer gjennom taket, kg/m³. Dette er en teoretisk verdi beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i luften ved utløp og absolutt fuktinnhold i luften ved innløp før lufta strømmer inn i taket.

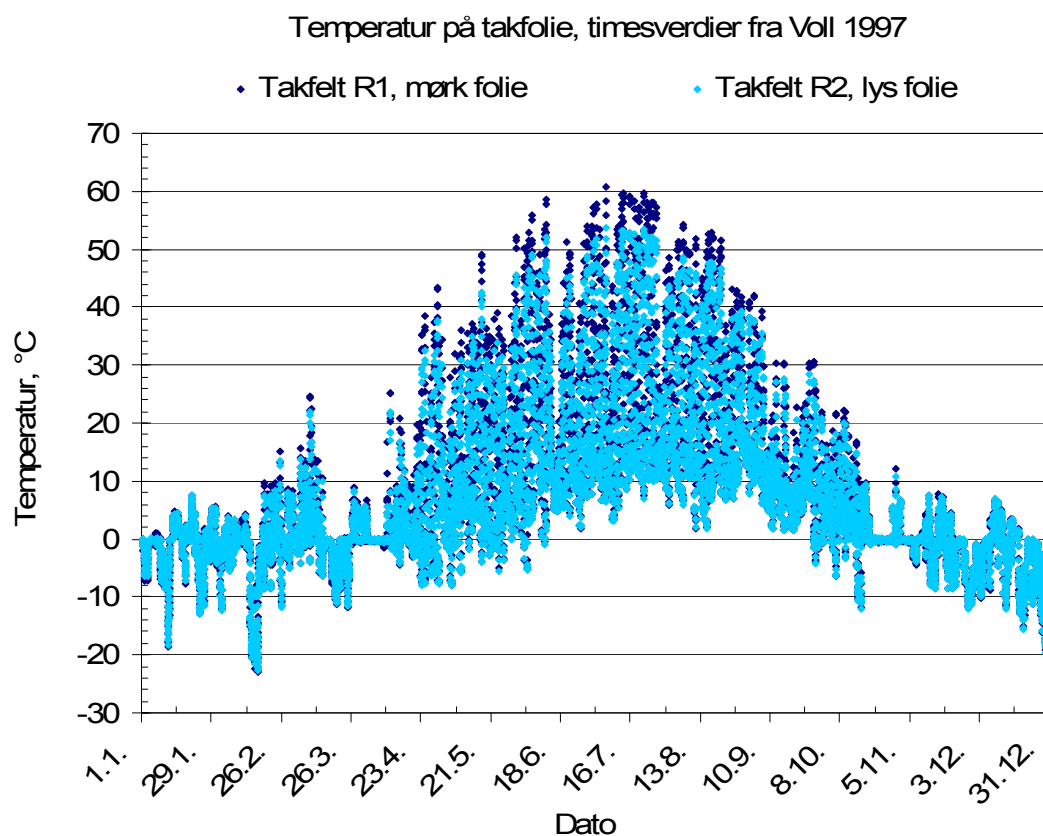
Vi har beregnet teoretisk uttørkingskapasitet både når det er fritt vann i taket, 100 % RF, og når det er blitt så tørt at faren for soppvekst er liten, 80 % RF, inne i taket. Det er i begge tilfeller forutsatt at luften har samme temperatur som takfolien når den strømmer ut av taket.

Resultatene fra temperaturanalysen og beregning av uttørkingskapasitet er vist i form av figurer med diagrammer som er samlet i vedlegg 6. Tabell 9.1 viser en oversikt over figurene. To av figurene er også vist i dette kapitlet.

Tabell 9.1

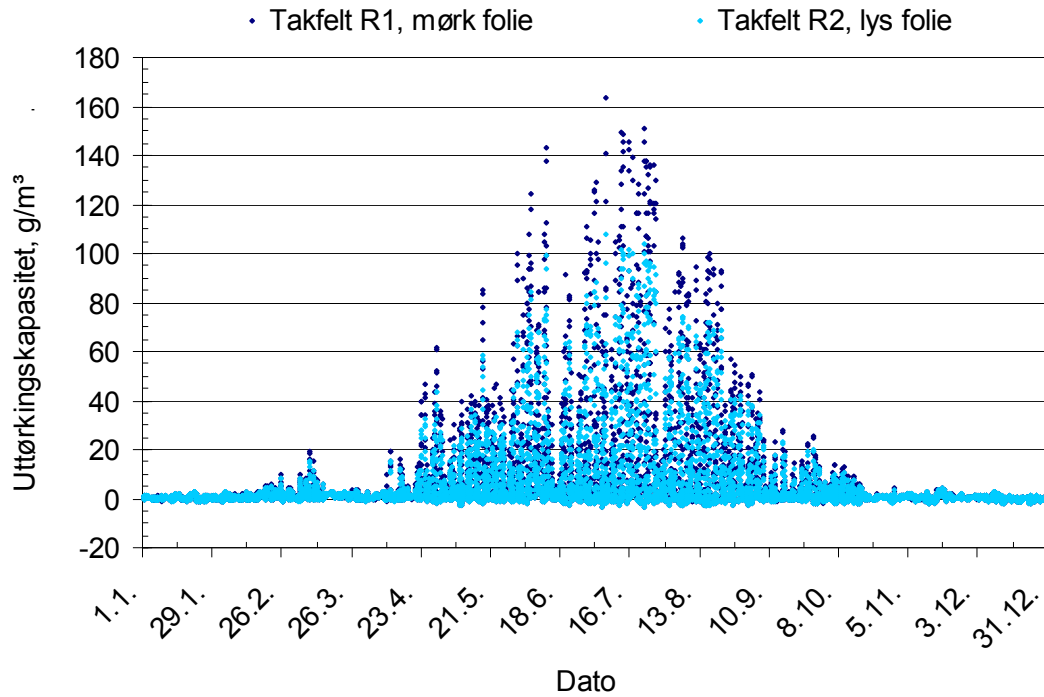
Oversikt over figurer fra temperaturanalysen i Vedlegg 6

Figur nr.	Side	Figuren viser
V6.1		Temperatur på takfolie på takfeltene R1 og R2
V6.2		Temperatur på takfolie på takfeltene R1 og R2, sortert etter stigende temperatur
V6.3		Temperaturforskjell mellom mørk og lys takfolie
V6.4		Temperaturforskjell mellom takfolie og uteluft
V6.5		Temperaturforskjell mellom takfolie og uteluft, sortert etter stigende forskjell
V6.6		Temperaturforskjell mellom uteluft og takfolie, sortert etter vindhastighet
V6.7		Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av utetluft, 100 %RF under takfolien
V6.8		Uttørkingskapasitet, sorter etter stigende verdi, 100 %RF under takfolien
V6.9		Samme som V 6.8, men utsnitt med større oppløsning på y-aksen
V6.10		Uttørkingskapasitet, kumulativt, 100 %RF under takfolien
V6.11		Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av utetluft, 80 %RF under takfolien
V6.12		Uttørkingskapasitet, sorter etter stigende verdi, 80 %RF under takfolien
V6.13		Samme som V 6.12, men utsnitt med større oppløsning på y-aksen
V6.14		Uttørkingskapasitet, kumulativt, 80 %RF under takfolien

**Figur 9.1 (V6.1)**

Målte temperaturer på takfolien på to takelementer på et forsøkshus på Voll i Trondheim. Begge takelementene har taktro av 22 mm kryssfiner og er tekket med samme type PVC-folie. På takelement R1 vender den mørke siden av folien opp, mens den lyse siden vender opp på takelement R2.

Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, Voll 1997, RF under takfolien: 100 %



Figur 9.2 (V6.7)

Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 100 % RF under takfolien.

Teoretisk uttørkingskapasitet pr. m³ luft som strømmer gjennom taket er beregnet på grunnlag av målte timesverdier for temperatur og RF i uteluften og målte temperaturer på takfolien. Uttørkingskapasiteten er beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i luften ved utløp og absolutt fuktinnhold i luften ved innløp. Det er her forutsatt at luften er mettet med vanddamp, 100 % RF, og at den har samme temperatur som takfolien når den strømmer ut av taket.

10 Oppsummering

10.1 Uttørkingsmuligheter for kompakte tak

Kompakte tak blir normalt bygget med tilnærmet luft- og dampette materialer, både på over- og undersiden, og har derfor i utgangspunktet svært begrenset selvuttørkingsevne. På grunn av utilsiktede utettheter ved takkantene, har slike tak likevel en viss evne til å slippe ut innebygd fukt, men det kan ta lang tid. Ved å velge mer dampåpne materialer, eller ved å bygge taket slik at en får en viss luftgjennomstrømning gjennom taket, kan også kompakte tak gis ønsket uttørkingsevne.

I tabell 2 i kapittel 2 har vi satt opp en systematisk oversikt over ulike former for selvuttørking i kompakte tak. Der vi har hatt tilstrekkelig grunnlag, har vi også forsøkt å tallfeste mulig uttørkingsevne for de enkelte uttørkingsmekanismene. Verdiene må betraktes som grove anslag. Uttørkingsforløpet for et tak vil variere mye både med beliggenhet og værforhold og med størrelse, materialvalg og utforming av taket

Gjennomstrømning av uteluft i kanaler i takisolasjonen er den mekanismen som kan gi størst uttørkingsevne, og som kan tørke ut større fuktmengder allerede i løpet av den første våren og sommeren. Denne uttørkingsmekanismen kan utnyttes for å gi kompakte tak midlertidig eller varig uttørkingsevne.

Diffusjon ned gjennom nye dampsperr typer med variabel dampmotstand, kan også gi kompakte tak en betydelig uttørkingsevne.

De øvrige uttørkingsmekanismene, som diffusjon ut gjennom dampåpne materialer ved takkantene og luftstrøm gjennom tilfeldige utettheter, kan gi lokal uttørking og være tilstrekkelige for å holde fuktnivået nede etter at fuktighet fra byggeperioden har tørket ut.

Behovet for uttørkingsevne for kompakte tak kan forøvrig begrenses ved andre tiltak som værbeskyttet bygging, regntette detaljløsninger, lufttett dampsperre og god ventilasjon.

Selv med tilrettelegging for god selvuttørkingsevne, må kompakte tak fortsatt bygges av materialer som tåler fukt. Dette siden man må regne med høyt fuktinnhold i perioder, i alle fall en tid etter at taket er lukket.

10.2 Tilrettelegging for uttørking ved gjennomstrømning av uteluft

Isolasjon som brukes i kompakte tak har lav luftgjennomslippelighet, lav permeabilitet og gir liten luftgjennomstrømning. For å få tilstrekkelig luftgjennomstrømning til å oppnå rask uttørking, er det derfor nødvendig å lage et kanalsystem i varmeisolasjonen. Ved å plassere åpningene til kanalsystemet ved parapetene, der vindsuget er størst, får en god luftgjennomstrømning og samtidig redusert fare for vindavblåsning av taktekningen. Fordi strømningsforholdene vil være forskjellige ved le og lo side av taket, vil vindsuget også være forskjellig ved to motstående parapeter. Det vil derfor strømme luft gjennom kanalsystemet, fra en parapet til en annen, selv om det er undertrykk ved begge kanalåpningene.

På store tak kan det være nødvendig å montere ventiler eller lyrer inne på selve takflaten, i tillegg til åpningene ved parapetene.

Løsningen med luftgjennomstrømning i kanaler frarådes i bygninger som kan få høy innvendig luftfuktighet og i bygninger hvor en ikke er sikker på å oppnå et dampsperrsjikt med god lufttetthet.

Uttørking via kanaler i isolasjonen er først og fremst egnet i bygninger med lav luftfuktighet, for eksempel godt ventilerte forretningsbygg og kontorbygg, og andre bygninger med god mekanisk ventilasjon og lav fukttilførsel. I slike bygninger er risikoen for oppfukning begrenset selv om dampsperran ikke er perfekt utført.

10.3 Videre arbeid

På små, horisontale tak vil det normalt bli vindsug både over og innvendig for alle parapetene. For tak over en viss størrelse kan det imidlertid bli trykk i stedet for sug på innsiden av parapeten på le side av taket. Spalteåpningene kan da bidra til økt påkjenning på festemidlene for taktekningen ved at det blåses inn mer luft gjennom åpningene ved le side enn det som suges ut gjennom åpningene ved lo side. Ved hvilke takstørrelser, parapetutforminger og plassering av spalteåpningene dette eventuelt er et problem, bør undersøkes nærmere. Det kan undersøkes gjennom CFD beregninger (Computational fluid dynamics), modellforsøk i vindtunnel eller ved trykkmålinger på virkelige tak.

Det kan, hvis nødvendig, utvikles ventilløsninger som lukker spalteåpningen når vindtrykket blir over en viss størrelse. En automatisk lukking av åpningene kan være ønskelig, både for å redusere varmetapet og for å hindre trykkoppbygging under tekningen.

Før vi eventuelt vil anbefale uttørkingsmekanismen med luftkanaler i isolasjonen, er det nødvendig å gjennomføre pilotprosjekter med målinger i virkelige tak under naturlige forhold. Det er nødvendig 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. Praktiske forsøk vil også være viktige for å videreutvikle gode og enkle detaljløsninger.

Referanser

- [1] Lisø, K.R., Kvande, T. (2007)
Klimatilpasning av bygninger. Sluttrapport fra Klima 2000. SINTEF Byggforsk, Oslo
- [2] Mattsson, J., (2004)
Muggsopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam forlag, Oslo.
- [3] Byggdetaljer 525.207 (2000)
Kompakte tak. *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [4] Byggdetaljer 525.002 (2007)
Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materialer. *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, Oslo
- [5] Oustad, M., Uvsløkk, S., Gustavsen, A., (2005)
Selvuttørkingsevne for kompakte tak - diffusjon. Prosjektrapport 386, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [6] Wolleng, T. (1979)
VVS-tekniske klimadata for Norge. Håndbok 33, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [7] Uvsløkk, S. (1996)
The Importance of Wind Barriers for Insulated Timber Frame Constructions. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*, Volume 20 – July 1996, Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, Pennsylvania USA
- [8] Geving, S., Thue, J.V. (2002)
Fukt i bygninger. Håndbok 50, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [9] Geving, S., Uvsløkk, S., (2000)
Moisture conditions in timber frame structures. Test house measurements for verification of heat-, air and moisture transfer models. Project report 273, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [10] Noreng, K., (2003)
Fukt i kompakte tak (fase 1). Prosjektrapport 351, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [11] Noreng, K., (2005)
Fukt i kompakte tak. Resultater fra en feltundersøkelse i to faser. Prosjektrapport 391, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [12] Holme, J., Noreng, K. and Kvande, T., (2008)
Moisture and Mould Growth in Compact Roofs – Results from a Three-Stage Field Survey. *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, (C. Rode ed.) Report R-189, Dept. of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby

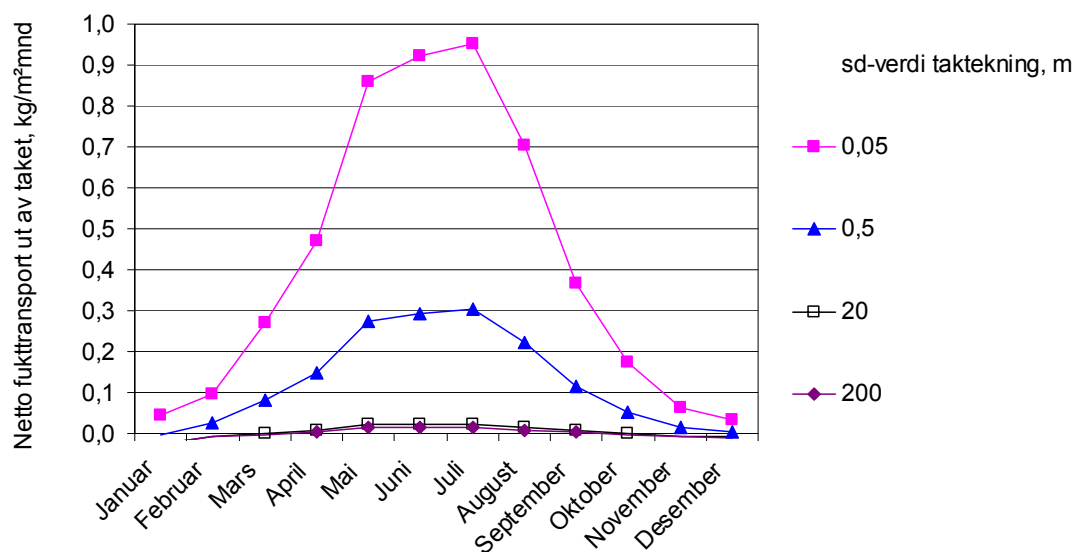
Vedlegg 1-7

- Vedlegg 1 Fukttransport ved gjennomstrømning av uteluft - beregningsresultater
- Vedlegg 2 Fukttransport ved gjennomstrømning av inneluft - beregningsresultater
- Vedlegg 3 Fukttransport ved luftveksling som følge av temperaturvekslinger - beregningsresultater
- Vedlegg 4 Fukttransport ved luftveksling som følge av vekslinger i barometertrykket - beregningsresultater
- Vedlegg 5 Uteklima som er brukt ved beregningene vist i vedlegg 2 og 3
- Vedlegg 6 Resultater fra temperaturmålinger fra SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim og beregnet teoretisk uttørkingskapasitet ved strømning av uteluft gjennom taket
- Vedlegg 7 Tegninger og bilder fra SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim og takfeltene det er vist måleresultater fra i kapittel 6

Vedlegg 1

Fuktrransport ved gjennomstrømning av uteluft - beregningsresultater

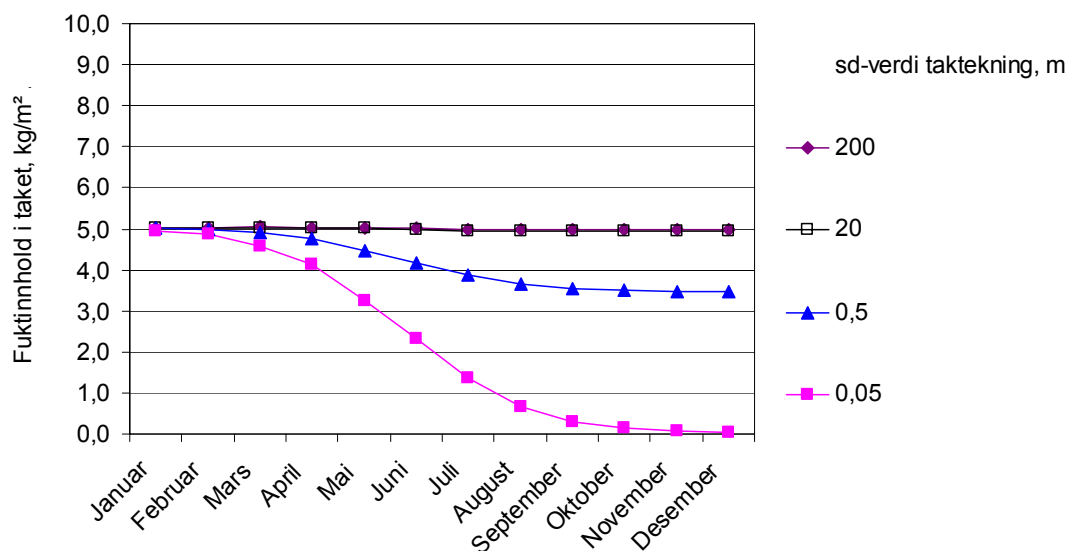
En oversikt over figurene er vist i kapittel 8.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², ingen luftkanaler i isolasjonen uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklime: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur V1.1

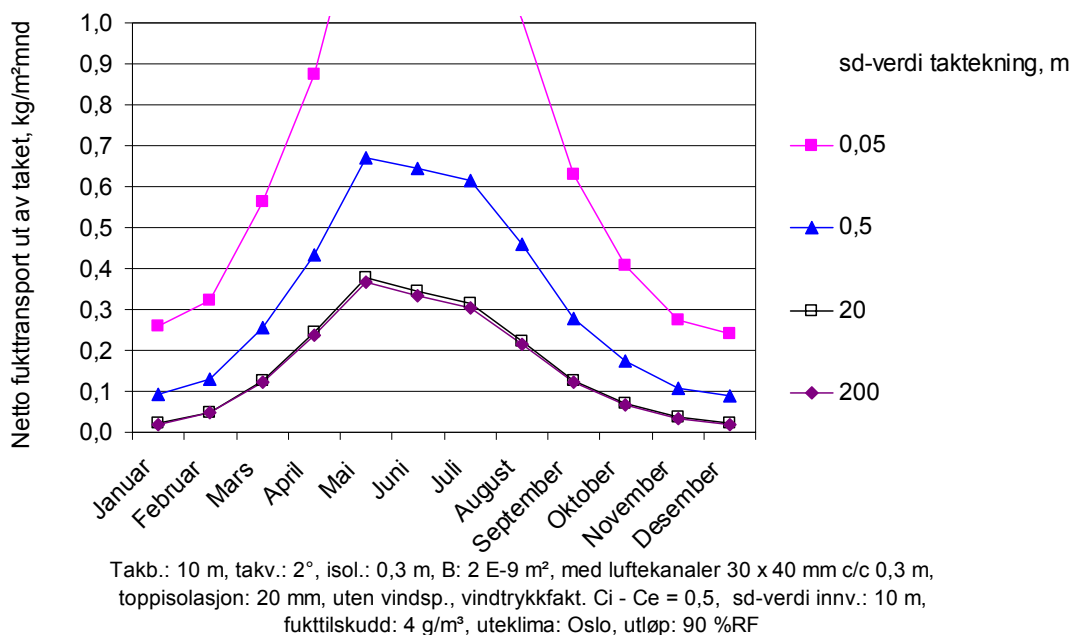
Beregnet fuktrransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull uten kanaler. De to nederste kurvene, som er nesten sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis PVC-folie og asfalt takbelegg. De to øverste kurvene viser til sammenligning beregnet fuktrransport for ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², ingen luftkanaler i isolasjonen uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklime: Oslo, utløp: 90 %RF

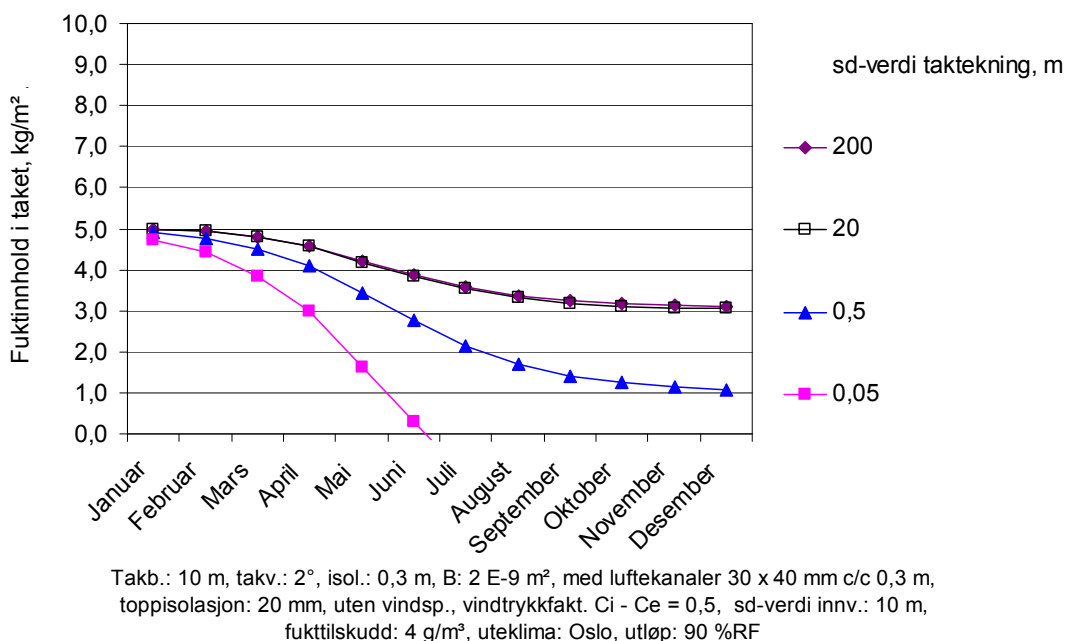
Figur V1.2

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme fuktrransport som i figur V1.1. Det er forutsatt at taket har et fuktinnhold på 5 liter pr m² ved start. De to øverste kurvene, som er praktisk talt sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis asfalt takbelegg og PVC-folie. De to nederste kurvene viser til sammenligning beregnet utvikling av fuktinnholdet i ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



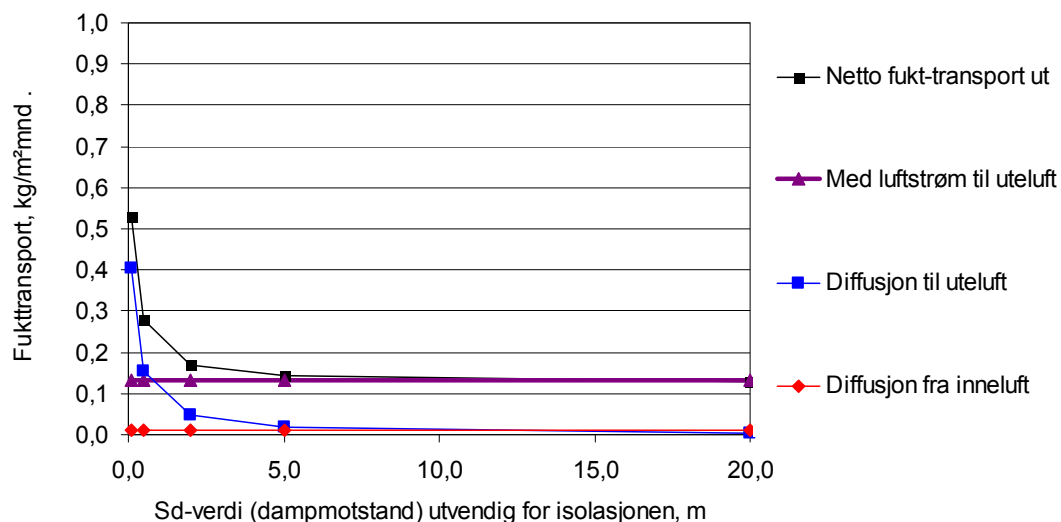
Figur V1.3

Beregnet fukkttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute, mineralull med luftkanaler. De to nederste kurvene, som er nesten sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis PVC-folie og asfalt takbelegg. De to øverste kurvene viser til sammenligning beregnet fukkttransport for ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



Figur V1.4

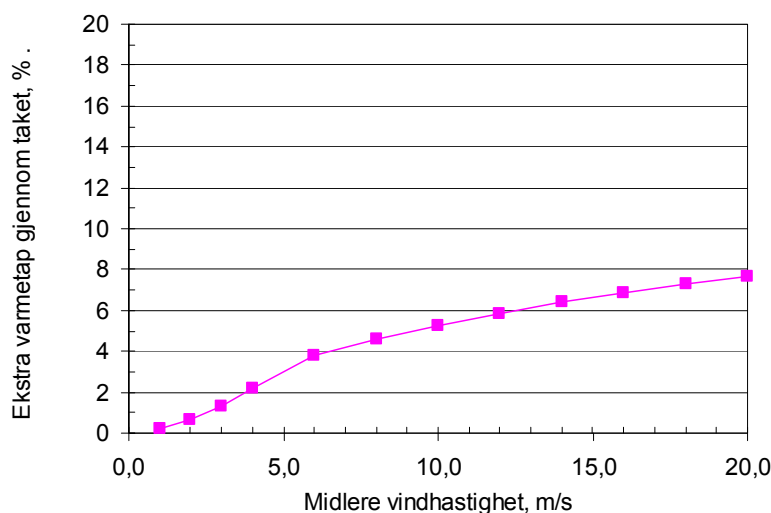
Beregnet utvikling av fukttinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme fukkttransport som i figur V1.3. Det er forutsatt at taket har et fukttinnhold på 5 liter pr m² ved start. De to øverste kurvene, som er praktisk talt sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis asfalt takbelegg og PVC-folie. De to nederste kurvene viser til sammenligning beregnet utvikling av fukttinnholdet i ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², med luftekanaler 30 x 40 mm c/c 0,3 m, toppisolasjon: 20 mm, uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fuktilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo i september 10,8 °C, 79 %RF, 2 m/s

Figur V1.5

Beregnet fukkttransport ved diffusjon og luftgjennomstrømning avhengig av tekingens vanddampmotstand, s_d - verdi. Kurvene viser at fukkttransport ved luftgjennomstrømning er den dominerende transportmekanismen i dette tilfellet.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², med luftekanaler 30 x 40 mm c/c 0,3 m, toppisolasjon: 20 mm, uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fuktilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo i september 10,8 °C, 79 %RF

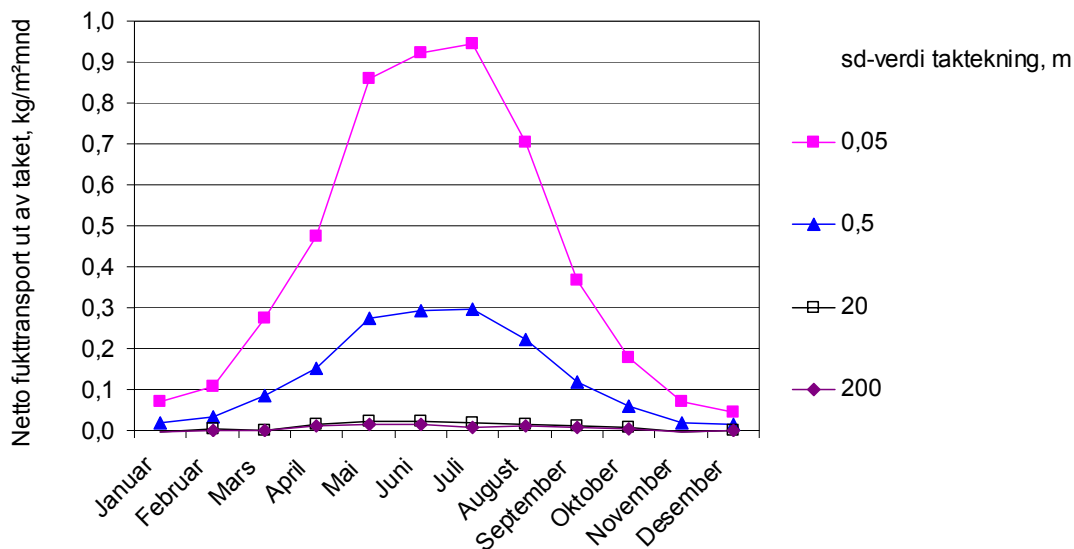
Figur V1.6

Beregnet ekstra varmetap som følge av luftgjennomstrømning, fra ute til ute, avhengig av vindhastigheten. Mineralull med luftekanaler.

Vedlegg 2

Fukttransport ved gjennomstrømning av inneluft - beregningsresultater

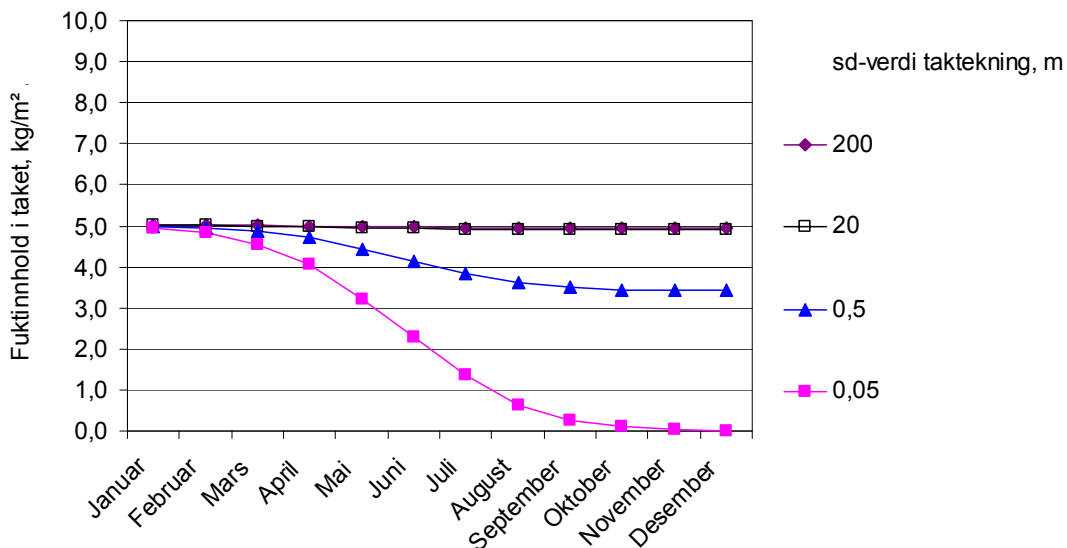
En oversikt over figurene er vist i kapittel 8.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², ingen luftkanaler i isolasjonen uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,25, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur V2.1

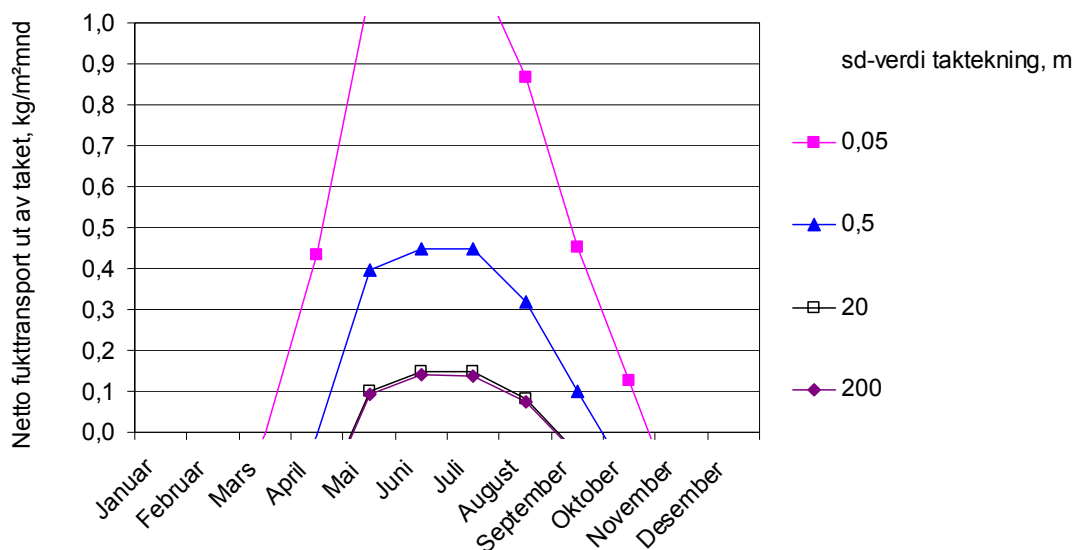
Beregnet fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull uten kanaler. De to nederste kurvene, som er nesten sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis PVC-folie og asfalt takbelegg. De to øverste kurvene viser til sammenligning beregnet fukttransport for ventilerte tak med dampåpent undertak.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², ingen luftkanaler i isolasjonen uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,25, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur V2.2

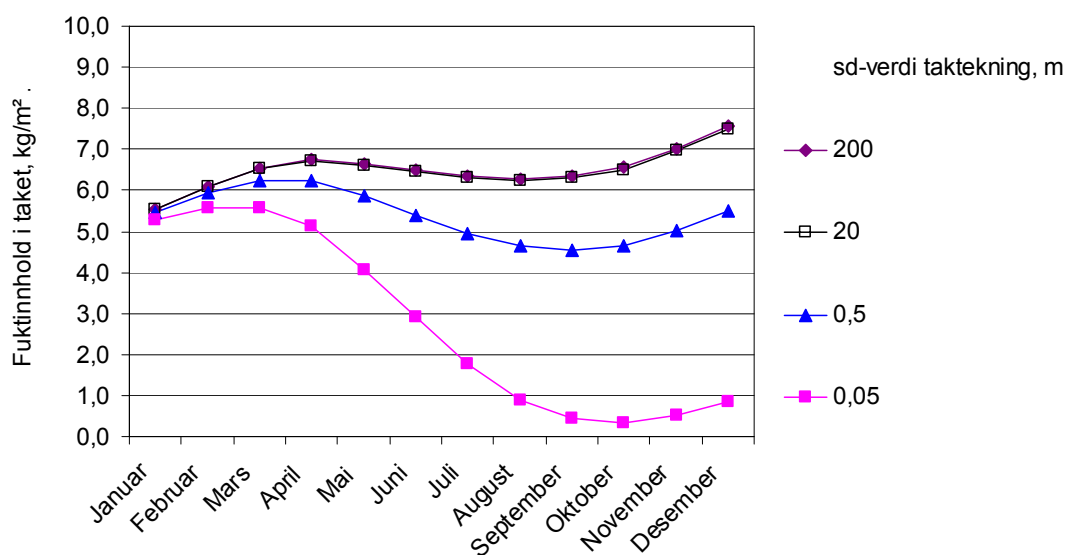
Beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme fukttransport som i figur V2.1. Det er forutsatt at taket har et fuktinnhold på 5 liter pr m² ved start. De to øverste kurvene, som er praktisk talt sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis asfalt takbelegg og PVC-folie. De to nederste kurvene viser til sammenligning beregnet utvikling av fuktinnholdet i ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², med luftkanaler 30 x 40 mm c/c 0,3 m, toppisolasjon: 20 mm, uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,25, sd-verdi innv.: 10 m, fukttillskudd: 4 g/m², uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur V2.3

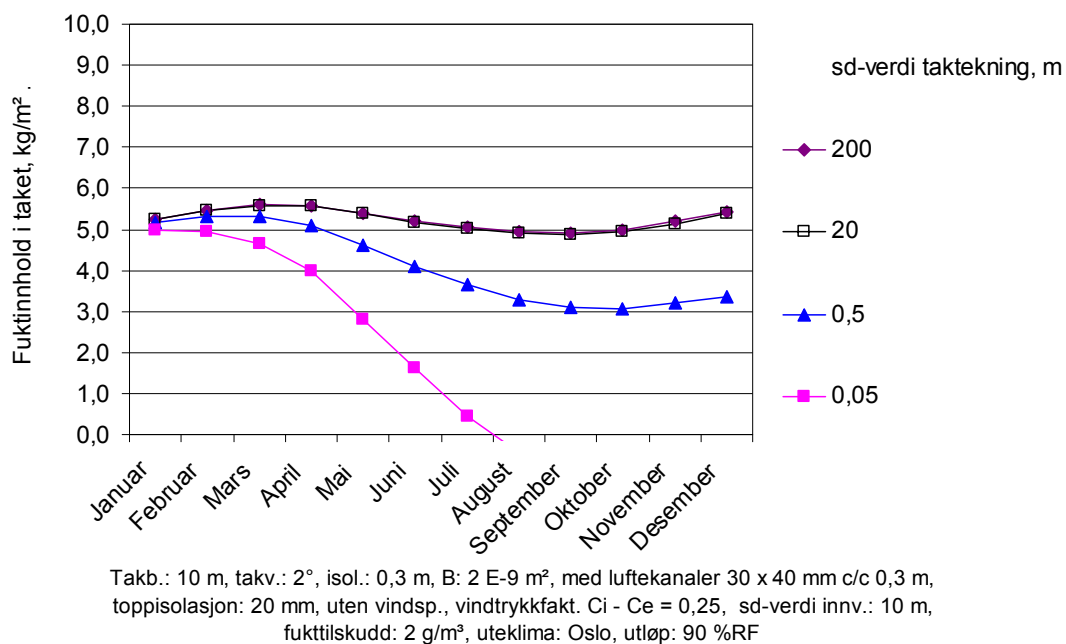
Beregnet fuktrtransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra inne til ute, mineralull med luftkanaler. Det er bare om sommeren at det er fuktrtransport ut av taket. Om vinteren blir det i stedet tilført fukt til taket. De to nederste kurvene, som er nesten sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis PVC-folie og asfalt takbelegg. De to øverste kurvene viser til sammenligning beregnet fuktrtransport for ventilerte tak med dampåpent undertak.



Takb.: 10 m, takv.: 2°, isol.: 0,3 m, B: 2 E-9 m², med luftkanaler 30 x 40 mm c/c 0,3 m, toppisolasjon: 20 mm, uten vindsp., vindtrykkfakt. Ci - Ce = 0,25, sd-verdi innv.: 10 m, fukttillskudd: 4 g/m², uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

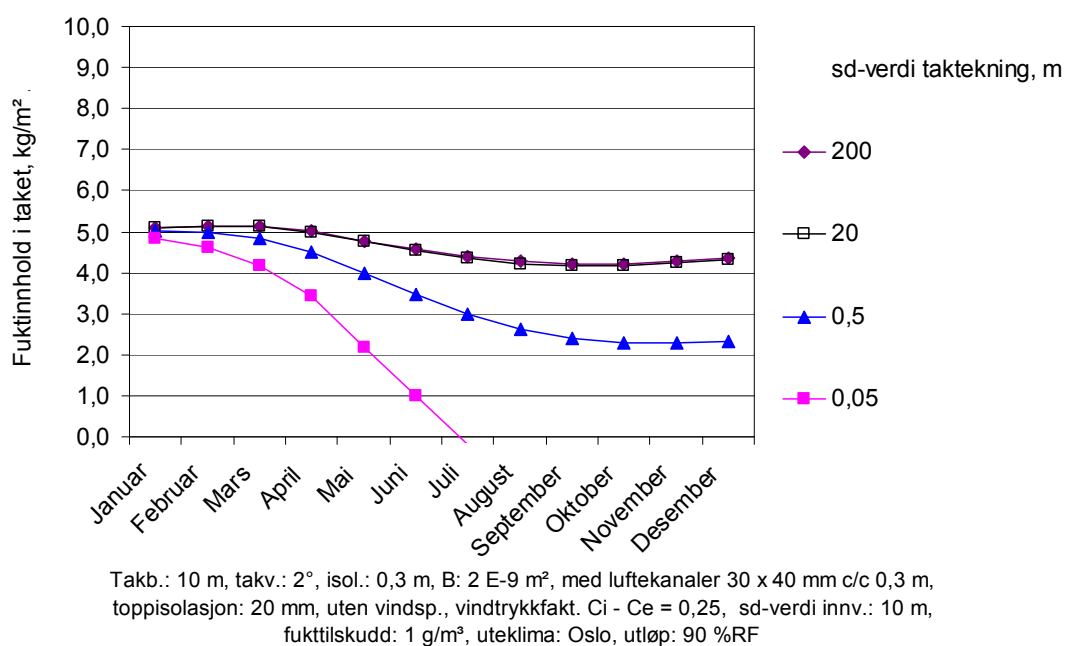
Figur V2.4

Beregnet utvikling av fukttinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme fuktrtransport som i figur V2.3. Det er forutsatt at taket har et fukttinnhold på 5 liter pr m² ved start. De to øverste kurvene, som er praktisk talt sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis asfalt takbelegg og PVC-folie. De to nederste kurvene viser til sammenligning beregnet utvikling av fukttinnholdet i ventilerte tak med dampåpent undertak. Forskjellene skyldes diffusjon.



Figur V2.5

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme betingelser som for figur V2.4 bortsett fra at maksimalt fukttilskudd inne er redusert fra 4 til 2 g/m³.



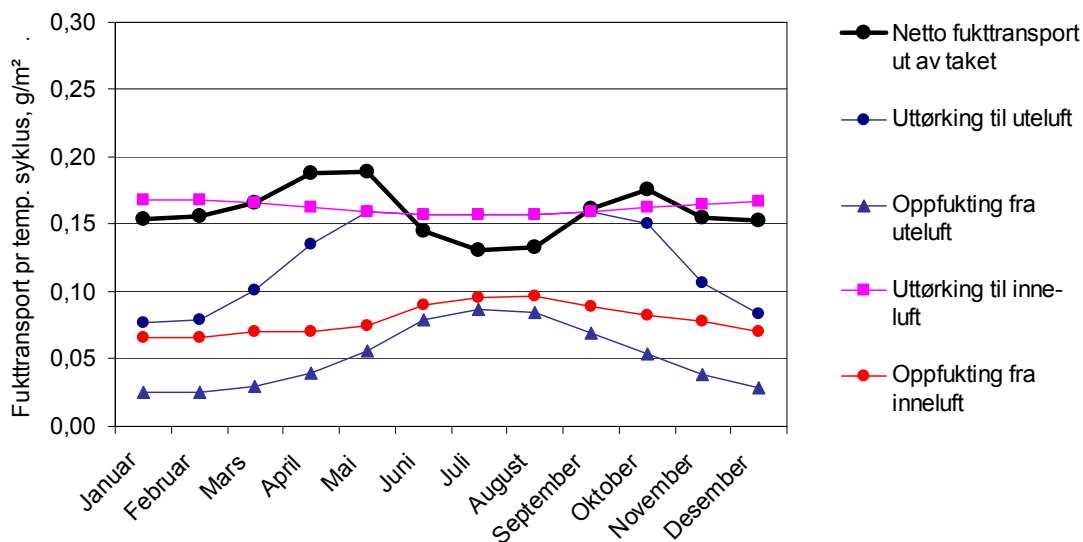
Figur V2.6

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme betingelser som for figur V2.4 og V2.5 bortsett fra at maksimalt fukttilskudd inne er redusert til 1 g/m³.

Vedlegg 3

Fukttransport ved luftutveksling som følge av temperaturvekslinger - beregningsresultater

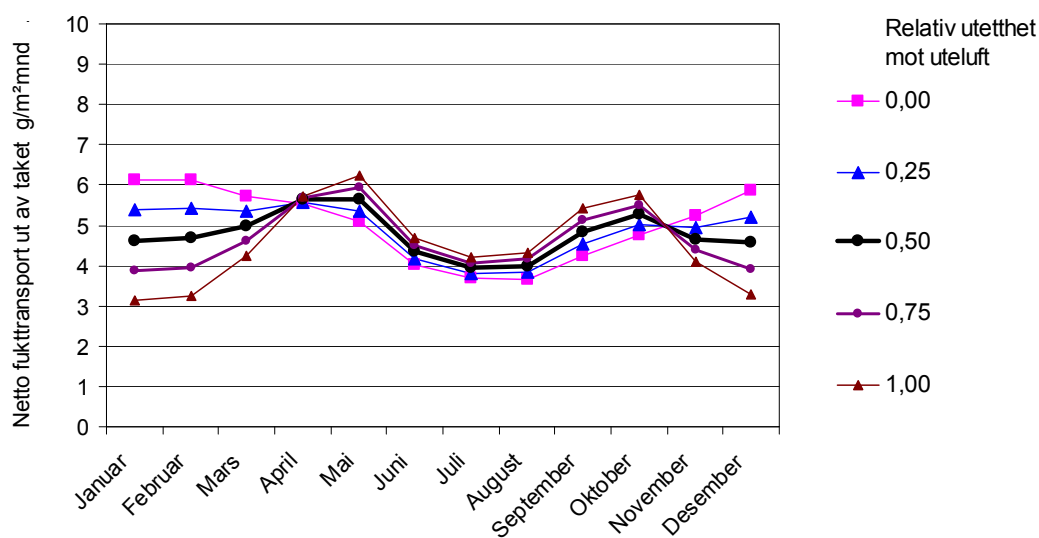
En oversikt over figurene er vist i kapittel 8.



Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklime: Oslo, temperaturvariasjoner i forhold til midlere utelufttemperatur, uteluft: +5 /-5 °C, takteking: +20/-5 °C

Figur V3.1

Beregnet fukttransport til og fra taket på grunn av veksling i temperaturen i uteluften og på tekningen. Temperaturvekslingene fører til at luft strømmer ut og inn gjennom utettheter i taket og fukttransporten pr. temperaturveksling varierer noe gjennom året. Det er her forutsatt at utetthetene i taket er jevnt fordelt mot inneluft og uteluft.

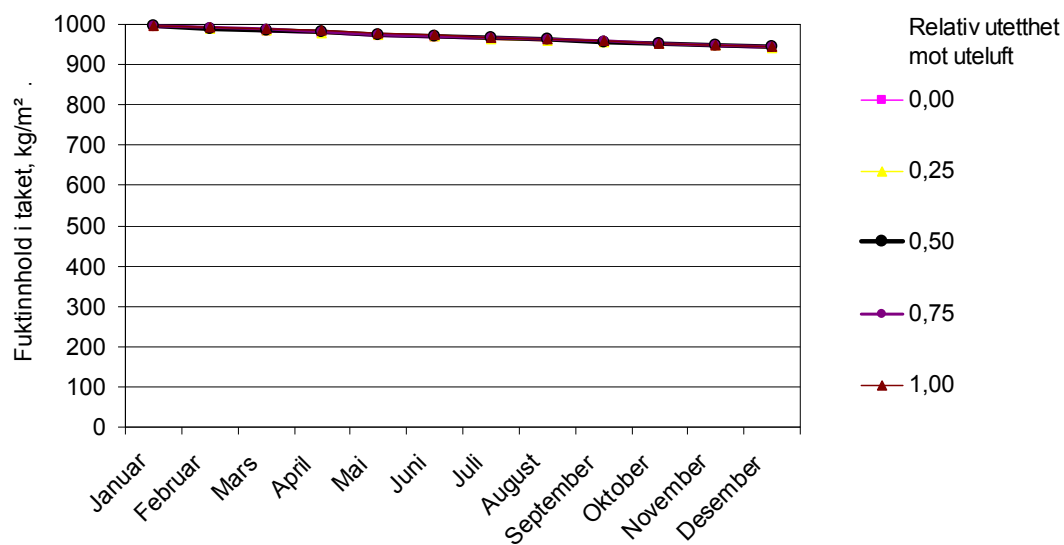


Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklime: Oslo, temperaturvariasjoner i forhold til midlere utelufttemperatur, uteluft: +5 /-5 °C, takteking: +20/-5 °C, Antall sykluser pr døgn: 1

Figur V3.2

Beregnet netto fukttransport ut av fra taket på grunn av vekslinger i temperaturen i uteluften og på tekningen gjennom et år. Temperaturvekslingene fører til at luft strømmer ut og inn gjennom utettheter i taket. Det er her vist hvordan utetthetsfordelingen påvirker netto fukttransport. At relativ utetthet mot uteluft er 0 betyr at all luftutveksling skjer med inneluft.

Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak



Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklima: Oslo, temperaturvariasjoner i forhold til midlere utelufttemperatur, uteluft: +5 /-5 °C, taktekning: +20/-5 °C, Antall sykluser pr døgn: 1

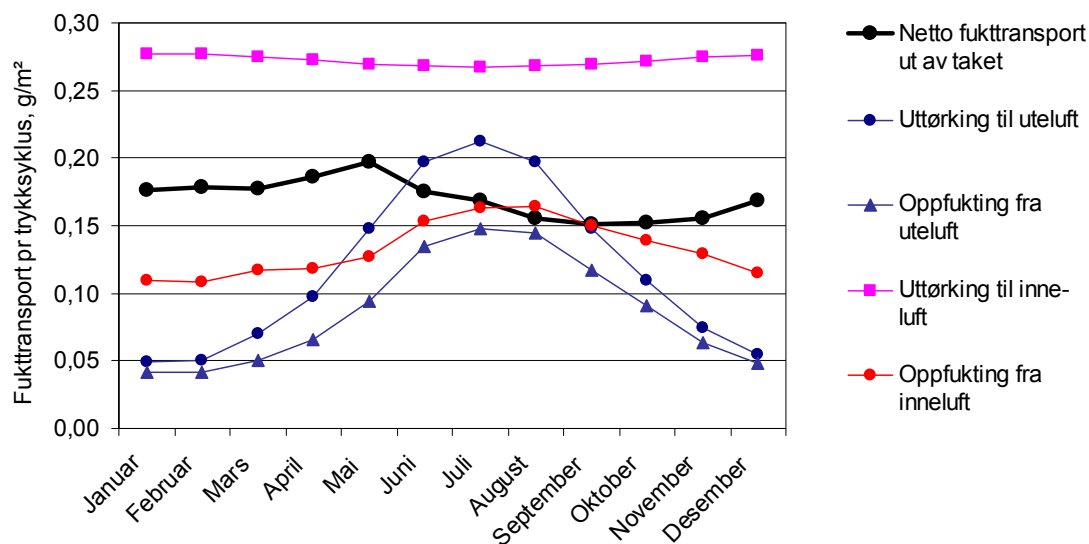
Figur V3.3

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i løpet av et år for tak med et fuktinnhold på 1 liter pr m² ved start. Diagrammet er basert på beregnet netto fukttransport fra figur V3.2.

Vedlegg 4

Fuktrnsport ved luftutveksling som følge av vekslinger i barometertrykket - beregningsresultater

En oversikt over figurene er vist i kapittel 8.

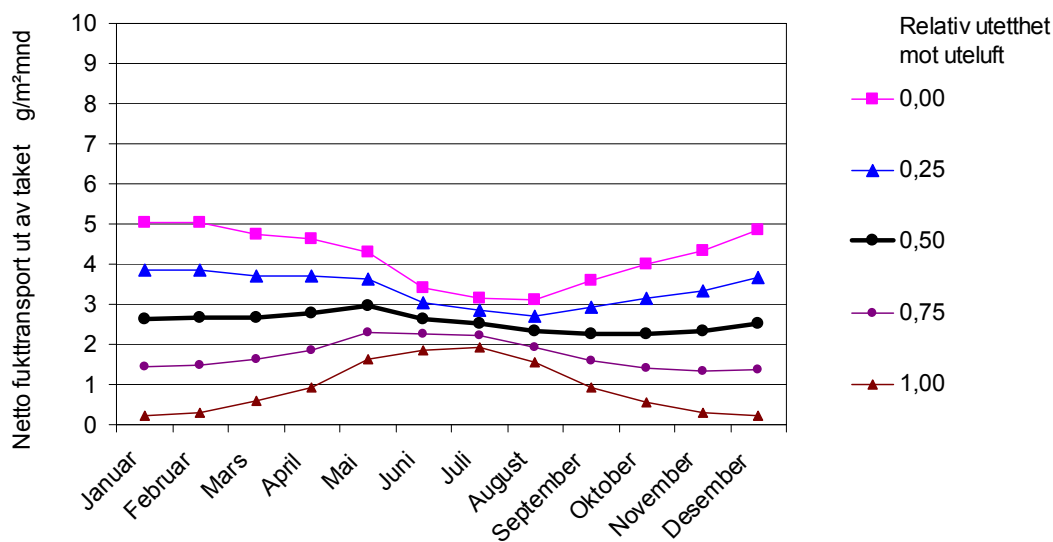


Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklima: Oslo i mars, variasjon i barometertrykk i forhold til normaltrykk: +5 /-5 %

Figur V4.1

Beregnet fuktrnsport til og fra taket på grunn av veksling i barometertrykket.

Lufttrykkvekslingene fører til at luft strømmer ut og inn gjennom utettheter i taket og fuktrnsporten pr. trykkveksling varierer noe gjennom året. Det er her forutsatt at utetthetene i taket er jevnt fordelt mot inneluft og uteluft.

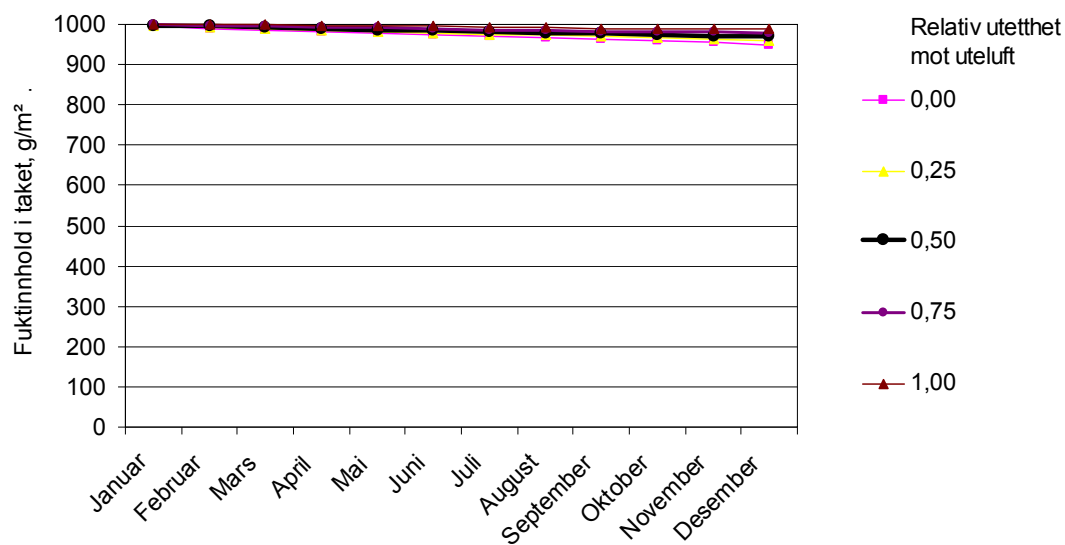


Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklima: Oslo i mars, variasjon i barometertrykk i forhold til normaltrykk: +5 /-5 %, Antall sykluser pr døgn: 0,5

Figur V4.2

Beregnet netto fuktrnsport ut av fra taket på grunn av vekslinger i barometertrykket gjennom et år. Lufttrykkvekslingene fører til at luft strømmer ut og inn gjennom utettheter i taket. Det er her vist hvordan utetthetsfordelingen påvirker netto fuktrnsport. At relativ utetthet mot uteluft er 0 betyr at all luftutveksling skjer med inneluft.

Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak



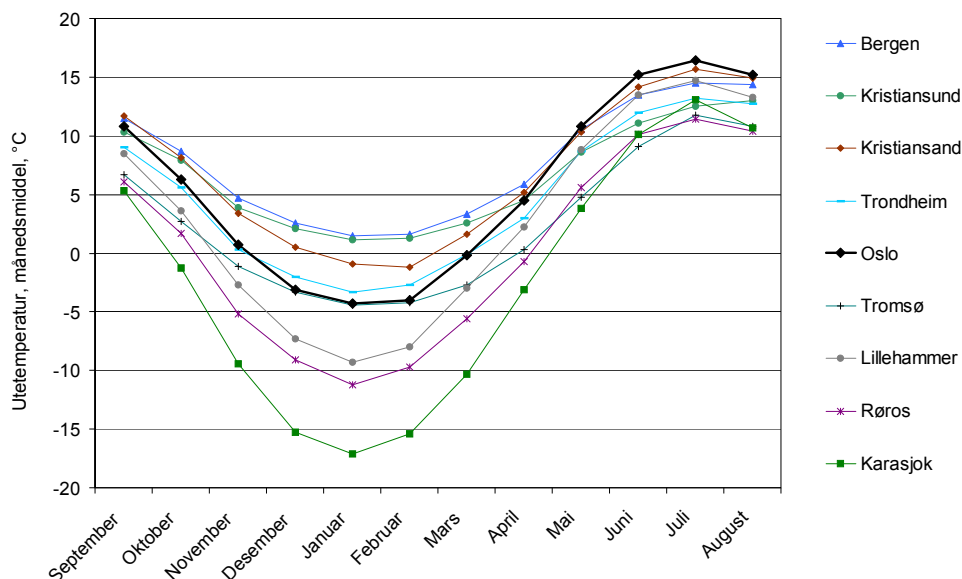
Tak med isolasjonstykkelse: 0,3 m, uteklima: Oslo i mars, variasjon i barometertrykk i forhold til normaltrykk: +5 /-5 %, Antall sykluser pr døgn: 0,5

Figur V4.3

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i løpet av et år for tak med et fuktinnhold på 1 liter pr m² ved start. Diagrammet er basert på beregnet netto fukttransport fra figur V4.2.

Vedlegg 5 Uteklima som er brukt ved beregningene

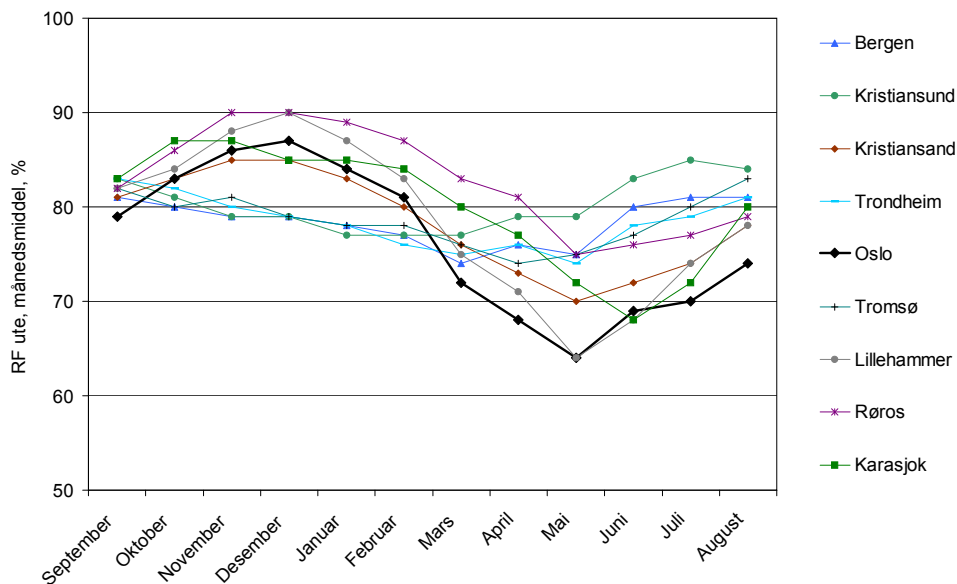
I dette vedlegget er det vist klimadata, månedsmidler for temperatur, RF og vindhastighet, for de ni stedene det er gjort beregninger for. Verdiene er hentet fra [6].



Figur V5.1

Utetemperatur

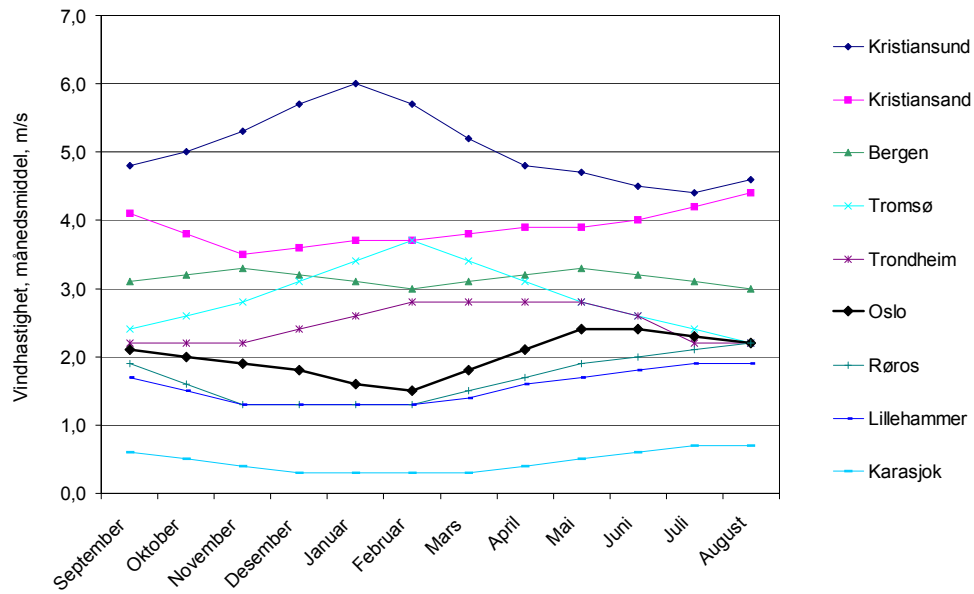
Diagrammet viser månedsmidler for de ni stedene det er gjort beregninger for. Verdiene er hentet fra [6].



Figur V5.2

Relativ luftfuktighet, RF, ute

Diagrammet viser månedsmidler for de ni stedene det er gjort beregninger for. Verdiene er hentet fra [6].



Figur

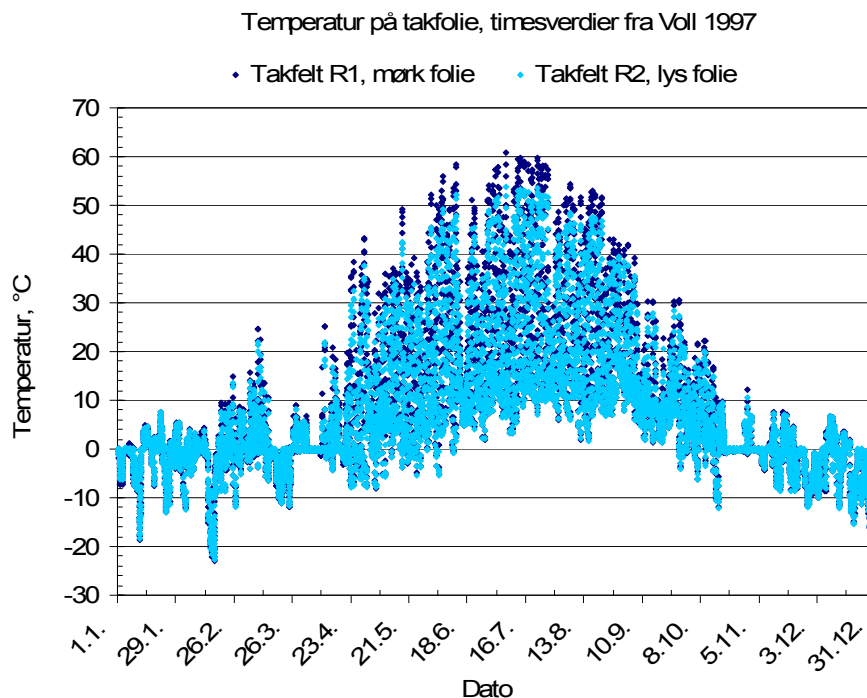
V5.3

Vindhastighet

Diagrammet viser månedsmidler for de ni stedene det er gjort beregninger for. Verdiene er basert på månedsmiddel for månedene oktober, januar, april og juli fra [6]. Verdier for mellomliggende måneder er bestemt ved interpolering. Vindhastighetene er basert på målinger 10 m over bakken.

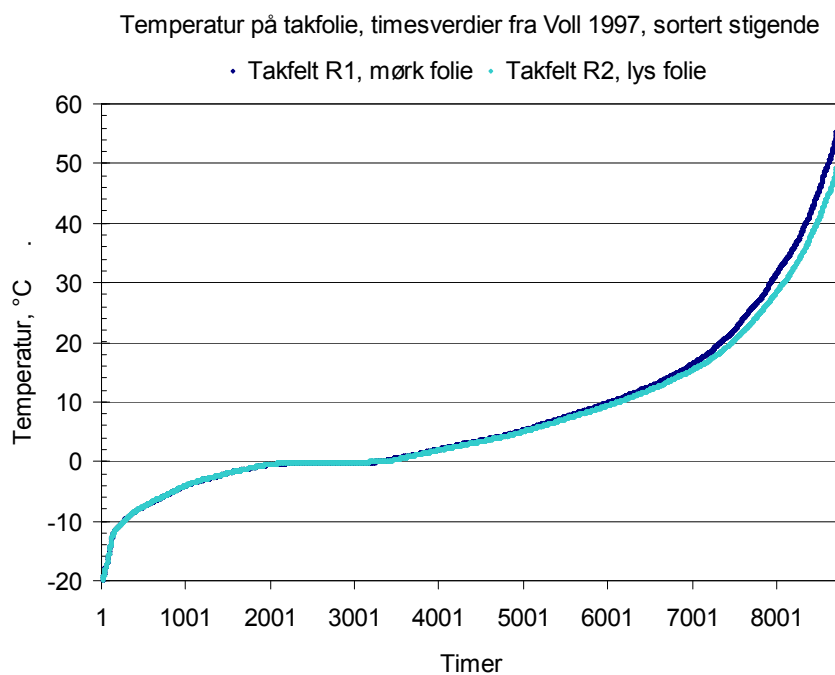
Vedlegg 6

Resultater fra temperaturmålinger fra SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim. Målte temperaturer og beregnede uttørkingskapasiteter ved gjennomstrømning av uteluft gjennom taket. En oversikt over figurene er vist i kapittel 9.



Figur V6.1

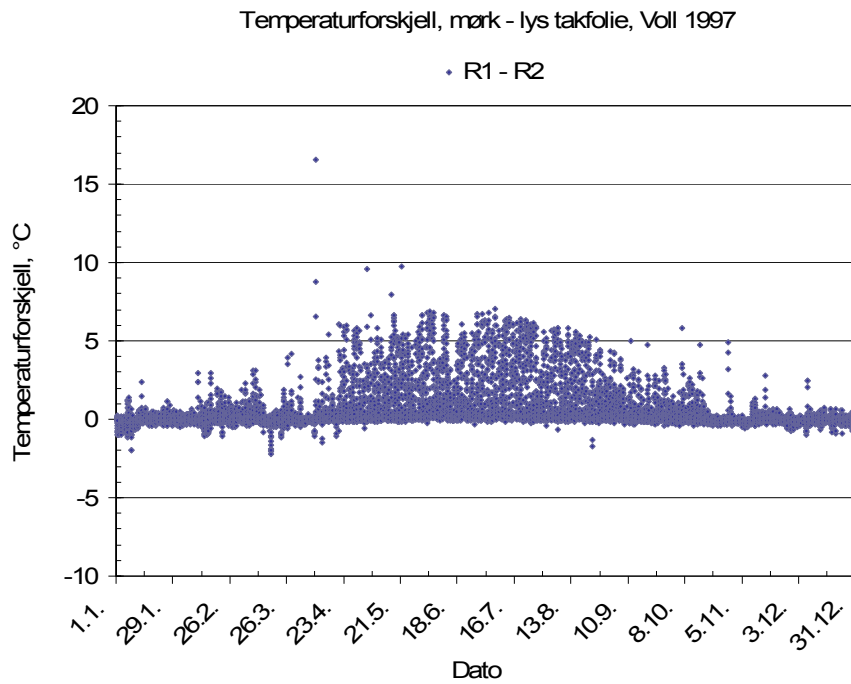
Målte temperaturer på takfolien på to takelementer på et forsøkshus på Voll i Trondheim. Begge takelementene har taktro av 22 mm kryssfiner og er tekket med samme type PVC-folie. På takelement R1 vender den mørke siden av folien opp, mens den lyse siden vender opp på takelement R2.



Figur V6.2

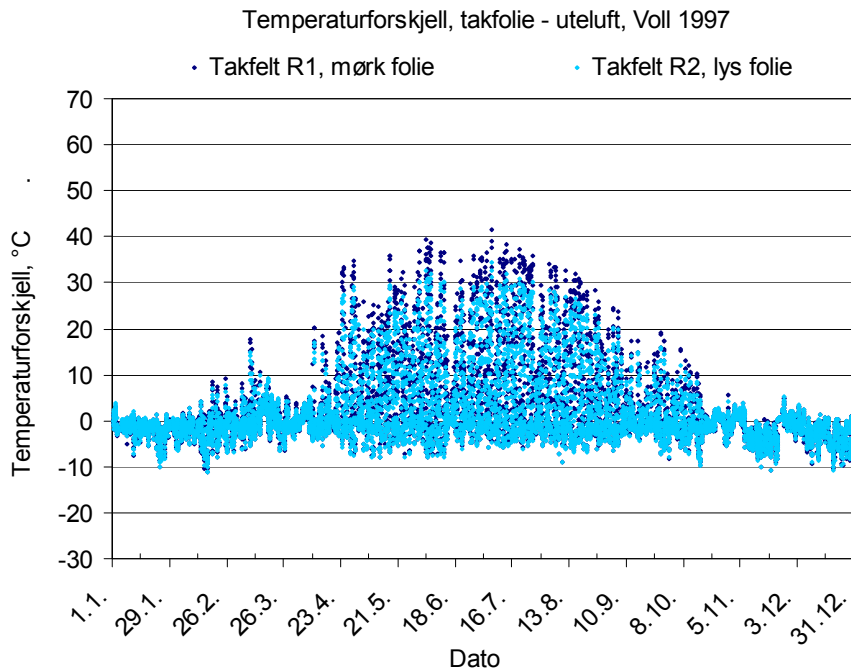
Målte temperaturer på takfolien på to takelementer på et forsøkshus på Voll i Trondheim.

Samme timesverdier som i figur V6.1, men her er verdiene sortert i stigende rekkefølge.



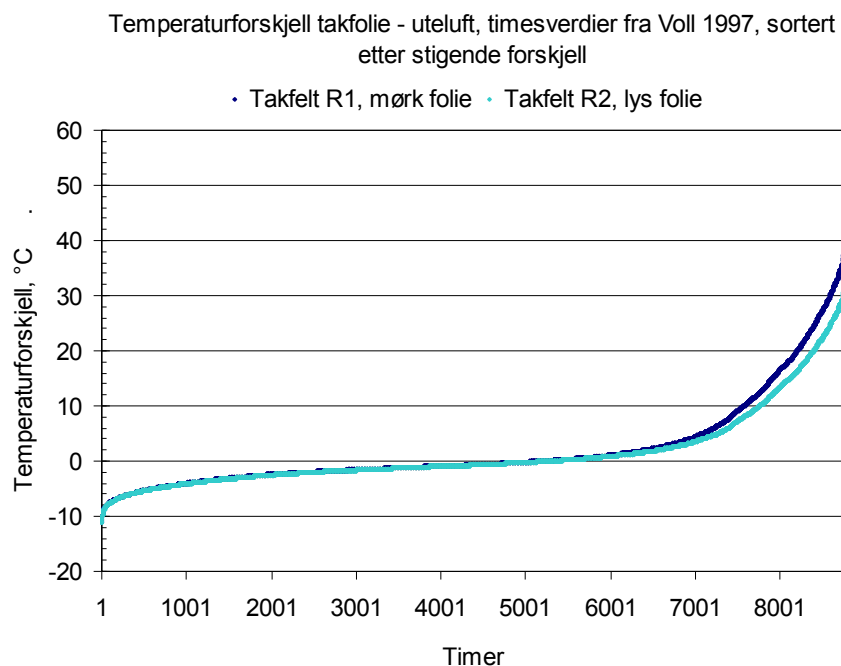
Figur V6.3

Temperaturforskjell mellom mørk og lys takfolie. Kurvene er basert på samme timesverdier som i figur V6.1 og V6.2, men diagrammet viser temperaturforskjellen mellom mørk og lys takfolie.



Figur V6.4

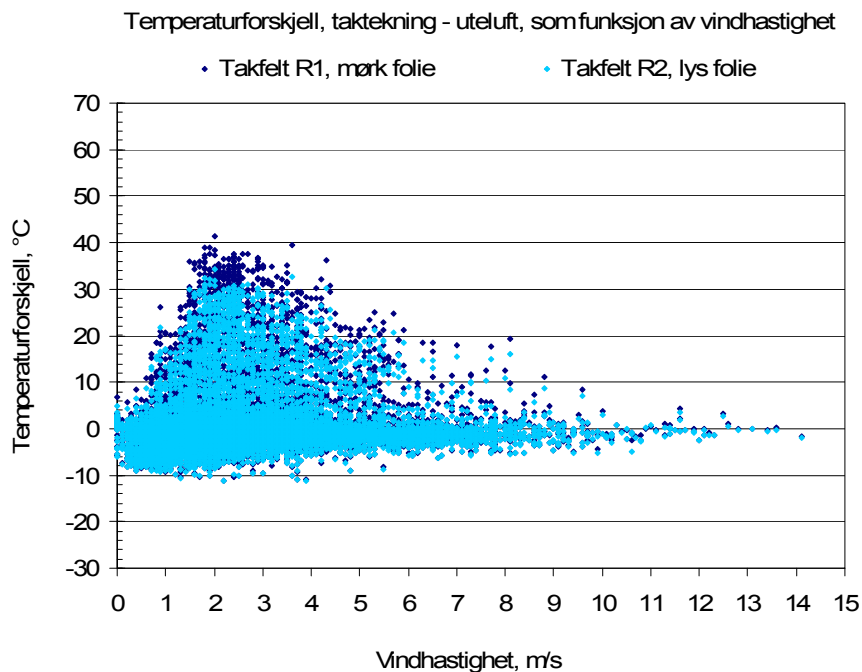
Temperaturforskjell mellom takfolie og uteluft, timesverdier.



Figur V6.5

Temperaturforskjell mellom takfolie og uteluft.

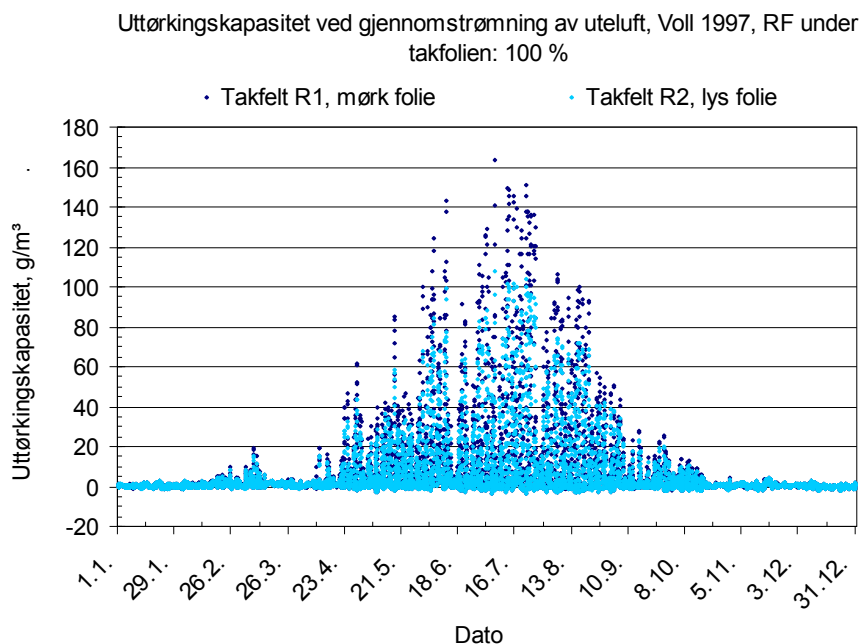
Samme verdier som i figur V 6.4, men her er temperaturforskjellene sortert i stigende rekkefølge.



Figur V6.6

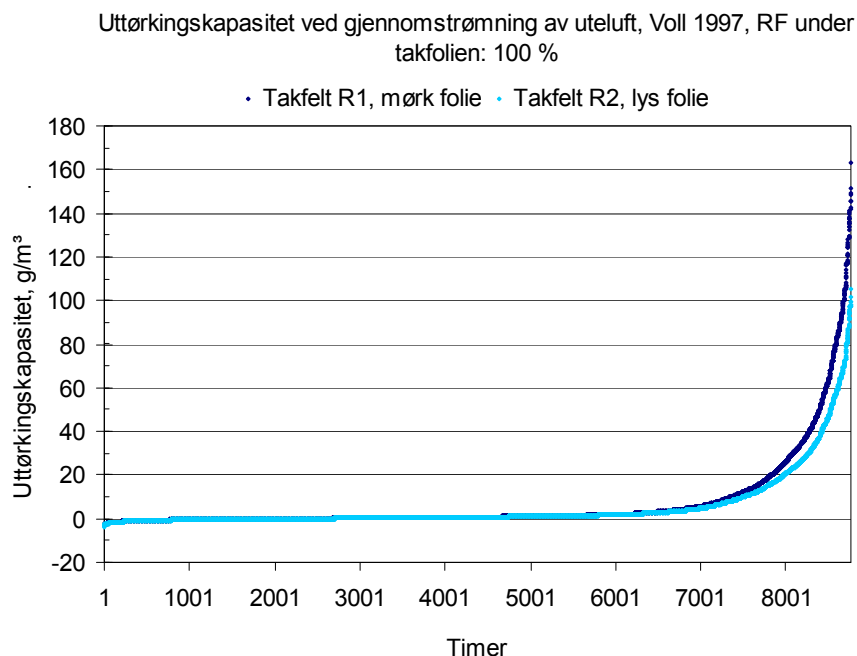
Temperaturforskjell mellom takfolie og uteluft.

Samme verdier som i figur V 6.4 og V 6.5, men her er temperaturforskjellene vist som funksjon av målt vindhastighet 10 m over bakken.



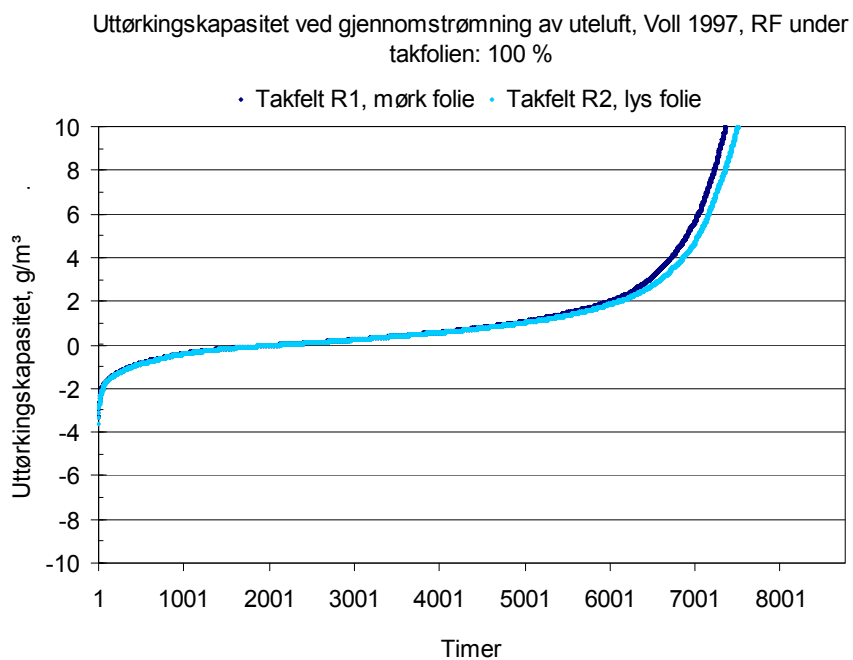
Figur V6.7

Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 100 % RF under takfolien. Teoretisk uttørkingskapasitet pr. m³ luft som strømmer gjennom taket er beregnet på grunnlag av målte timesverdier for temperatur og RF i uteluften og målte temperaturer på takfolien. Uttørkingskapasiteten er beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i luften ved utløp og absolutt fuktinnhold i luften ved innløp. Det er her forutsatt at luften er mettet med vanddamp, 100 % RF, og at den har samme temperatur som takfolien når den strømmer ut av taket.



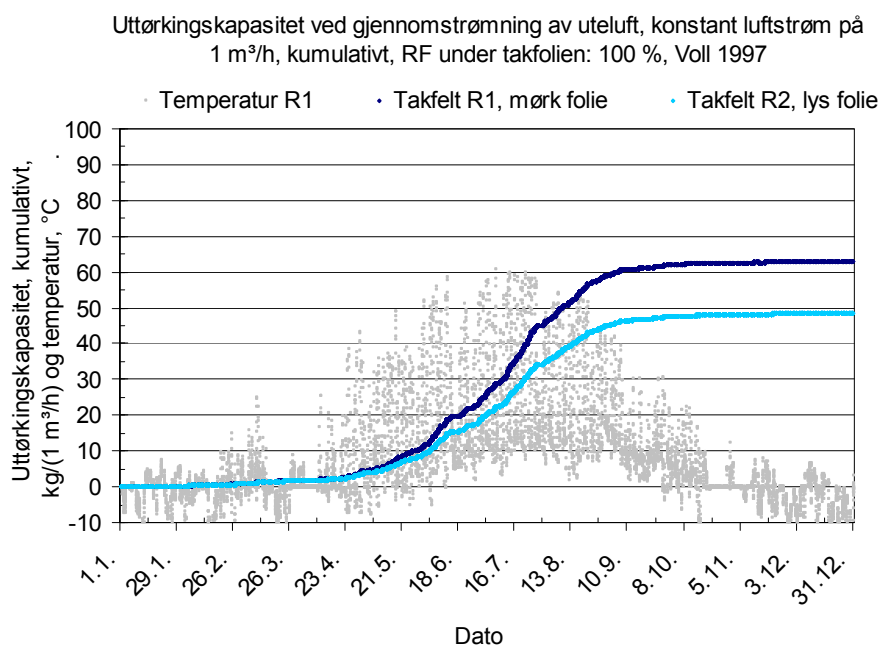
Figur V6.8

Teoretisk uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 100 % RF under takfolien. Samme verdier som i figur V 6.7, men her er verdiene sortert i stigende rekkefølge.



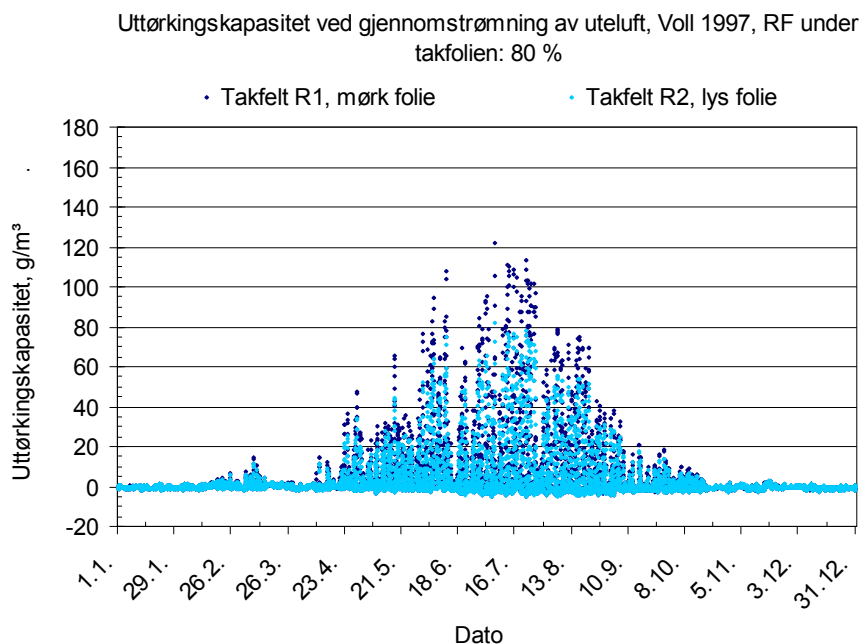
Figur V6.9

Teoretisk uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 100 % RF under takfolien. Samme som figur V 6.8, men med større oppløsning langs Y-aksen.



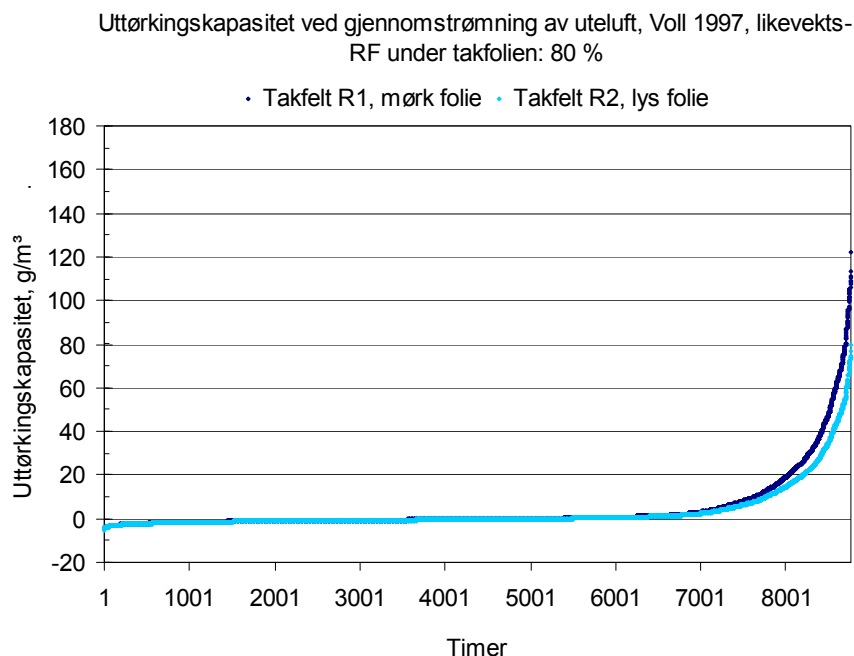
Figur V6.10

Teoretisk kumulativ uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 100 % RF under takfolien. Verdiene er beregnet ved å summere timesverdiene fra figur V 6.7 gjennom året. Kurven viser hvor mye fukt en konstant luftstrøm på 1 m³/h kan transportere ut av taket i løpet av et år (1997). Figuren viser også hvordan temperaturen til takfolien varierer gjennom året.



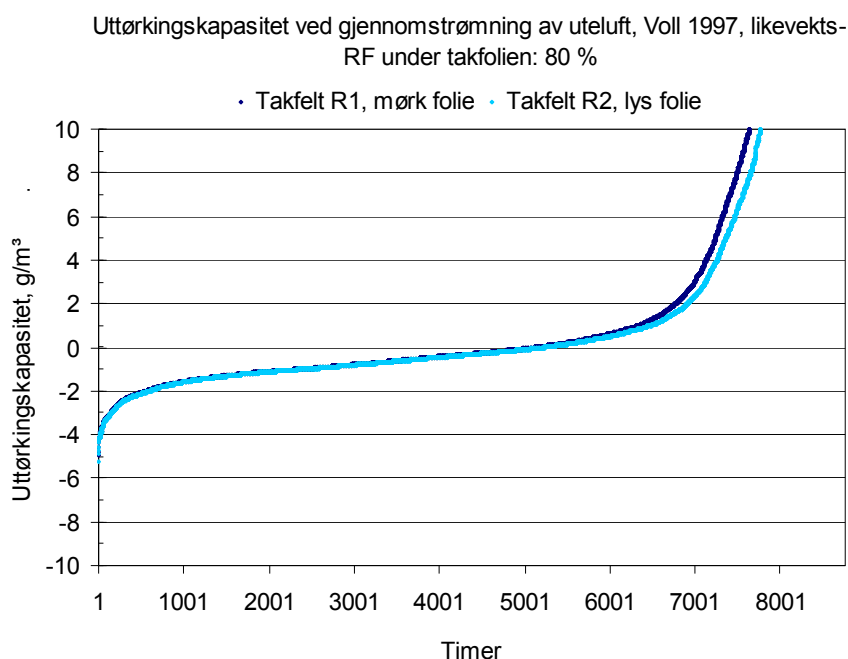
Figur V6.11

Uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 80 % RF under takfolien. Teoretisk uttørkingskapasitet pr. m³ luft som strømmer gjennom taket er beregnet på grunnlag av målte timesverdier for temperatur og RF i uteluften og målte temperaturer på takfolien. Uttørkingskapasiteten er beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i luften ved utløp og absolutt fuktinnhold i luften ved innløp. Det er her forutsatt at luftens RF er 80 %, og at den har samme temperatur som takfolien når den strømmer ut av taket.



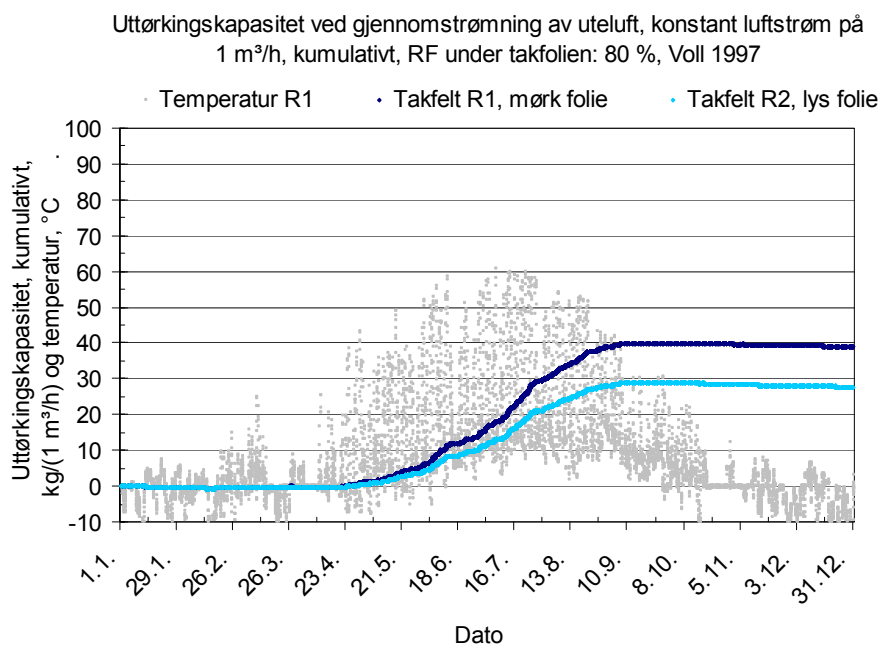
Figur V6.12

Teoretisk uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 80 % RF under takfolien. Samme verdier som i figur V 6.11, men her er verdiene ene sortert i stigende rekkefølge.



Figur V6.13

Teoretisk uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 80 % RF under takfolien. Samme som figur V 6.12, men med større oppløsning langs Y-aksen.



Figur V6.14

Teoretisk kumulativ uttørkingskapasitet ved gjennomstrømning av uteluft, 80 % RF under takfolien. Verdiene er beregnet ved å summere timesverdiene fra figur V 6.7 gjennom året. Kurven viser hvor mye fukt en konstant luftstrøm på 1 m³/h kan transportere ut av taket i løpet av et år (1997). Figuren viser også hvordan temperaturen til takfolien varierer gjennom året.

Vedlegg 7

SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim



Figur V7.1

SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim. Bygningen er orientert med lengdeaksen i retning sør-nord. Bildet viser langsiden mot øst og gavlveggen mot nord.



Figur V7.2

Bilder av taket under åpningen av takelementene høsten 2006, 12 år etter at de prefabrikerte takelementene ble montert. PVC-folien ble skjært opp for å kunne inspisere kryssfinerplatene før nye fuktforsøk ble satt i gang. Det var ingen synlige tegn til soppvekst verken på oversiden eller undersiden av kryssfinerplatene.

De to takelementene det er vist temperaturer fra i kapittel 9 og i vedlegg 6 ligger på sørenden av taket, lengst fra kameraet. Det var samme type PVC takfolie på alle takelementene, men den mørke siden vendte opp på to av elementene (R1 og R6) og den lyse vendte opp på de øvrige elementene (R2 - R5).

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 det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

SINTEF Byggforsk er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.