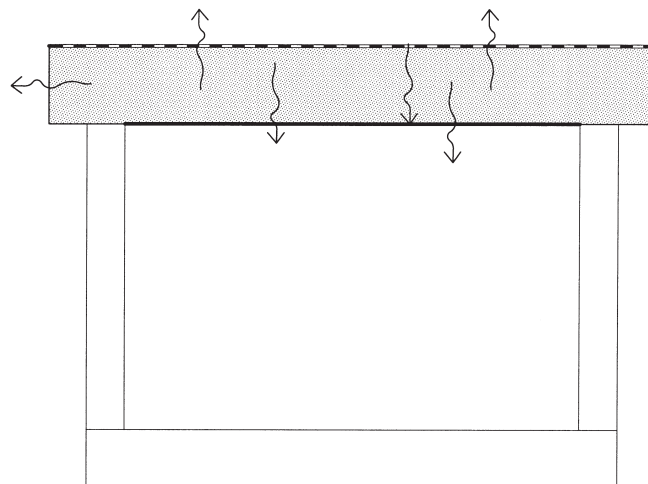


Mikkel Oustad, Sivert Uvsløkk og
Arild Gustavsen

Selvuttørkingsevne for kompakte tak – diffusjon



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Mikkel Oustad, Sivert Uvsløkk og
Arild Gustavsen

Selvuttørkingsevne for kompakte tak – diffusjon

Prosjektrapport 386 – 2005

Prosjektrapport nr 386
Mikkel Oustad, Sivert Uvsløkk og Arild Gustavsen
Selvuttørkingsevne for kompakte tak – diffusjon

Emneord: Klimatilpasning, klimapåkjønning, tak, fukt, tak-
tekning, vindspærre, dampspærre, varmeisolasjon, selvuttør-
king, diffusjon, beregninger

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0875-6

150 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat: 100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2005

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens be-
stemmelser. Uten særskilt avtale med Norges byggforskningsinstitutt
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 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08
www.byggforsk.no

Hovedsamarbeidspartnere

Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd (NFR), Husbanken, Finansnæringens Hoved-
organisasjon (FNH), Oslo kommune Undervisningsbygg Oslo KF, Statsbygg, Statens bygningstekniske etat
(BE), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Bransjepartnere

Brødr. Sunde AS, Dr. Techn. Kristoffer Apeland A/S, Glava A/S, Icopal as, Interconsult ASA, Isola as, Isolitt as,
Jotun A/S, Jackon AS, Løvolds Industrier AS, maxit as, Moelven ByggModul AS, Protan A/S, A/S Rockwool,
Scandiaconsult AS, Skanska Norge AS, Vartdal Plastindustri AS, Aadnesen as

Bransjeforeninger

Boligprodusentenes Forening, Byggenæringens Landsforening (BNL), Byggevareindustriens forening,
Isolasjonsprodusentenes forening (IPF), Norges Byggmesterforbund (Byggmesterforbundet),
Plastindustriforbundet (PIF), Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF), Ventilasjons- og
blikkenslagerbedriftenes landsforbund (VBL)

Norske fagmiljøer

Arkitekthøgskolen i Oslo (AHO), CICERO Senter for klimaforskning, Universitetet for miljø- og biovitenskap
(UMB), Meteorologisk institutt, Riksantikvaren, Standard Norge

Forord

Denne prosjektrapporten gir en oversikt over hvilke mekanismer som kan bidra til uttørring av kompakte tak. Rapporten viser ved hjelp av fuktbergningsprogram hvordan transportmekanismen diffusjon kan bidra til kompakte taks selvuttørkingsevne. Transportmekanismen konveksjon er ikke studert i denne rapporten. Resultatene fra arbeidet kan bidra til vurdering av selvuttørkingsevnen for kompakte takkonstruksjoner med både tradisjonell og eventuell ny detaljutførelse.

Arbeidet med rapporten er utført i forbindelse med prosjekt 4 *Studie av kompakte og luftede isolerte tak*. Prosjektet er en del av FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*. Rapporten er skrevet i samarbeid mellom Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Norges byggforskningsinstitutt (NBI).

Klima 2000 sitt hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsippløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger. Videre skal programmet kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø, og drøfte hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og utarbeide bedre anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Det skal i tillegg utvikles retningslinjer for hvordan de ulike aktører i plan- og byggeprosessen kan medvirke til å unngå at en bygning får skader eller ulemper som er forårsaket av fukt.

Klima 2000 er et viktig ledd i arbeidet med å utvikle og revidere anvisninger i Byggforskserien og produktokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Programmet ledes av Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og gjennomføres i samarbeid med Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd, Husbanken, Statsbygg, Finansnæringens Hovedorganisasjon, Undervisningsbygg Oslo KF, Statens bygningstekniske etat og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), samt andre fagmiljøer og sentrale aktører i BAE-sektoren. Programmet som ble igangsatt i august 2000, og vil pågå frem til utgangen av år 2006, består av 14 ulike prosjekter.

I arbeidet med rapporten har det faglige utvalget for prosjekt 4 vært en sentral støttespiller; Brødr. Sunde as, Icopal as, Isola as, Moelven ByggModul AS, Protan A/S, Rambøll Norge AS, Riksantikvaren, A/S Rockwool og Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF).

Trondheim, mars 2005

Tore Kvande
Programleder
Norges byggforskningsinstitutt

Sivert Uvsløkk
Prosjektleder, prosjekt 4
Norges byggforskningsinstitutt

Sammendrag

Kompakte tak er satt sammen av ett eller flere sjikt, som ligger tett inntil hverandre. Varmeisolasjonen avgrenses av dampette materialer som dampspærre og tekning, slik at uttørkingspotensialet for isolasjonslaget kan være begrenset. Et isolerende snølag kan føre til at takflaten varmes opp, slik at snølaget smelter nedenfra. Det vil derfor være nødvendig å bygge opp taket med fall innover mot innvendig taknedløp, og dermed hindre isdannelser ved takkantene. Kompakte tak som er utført på en tilfredsstillende måte, uten råteømfintlige materialer mellom tekning og dampspærre, har blitt oppfattet som robuste konstruksjoner med liten ømfintlighet for fukt.

Fukt kan komme inn i kompakte tak på ulike måter. Nedbør i løpet av utførelsen av takarbeider, kan føre til innebygd fukt i taket. Fuktopptak kan også skje ved lekkasjer på grunn av manglende kvalitet på utførelse, eller på grunn av påførte skader i løpet av byggeperioden eller bygningens bruksfase.

I forbindelse med fukt i kompakte flate tak er det ønskelig å få kunnskap om hva som skjer på kort og lang sikt. Blant annet foreligger det usikkerhet om høyt fuktinnhold kan gi grunnlag for muggvekst, selv når tilgang på organiske materialer og oksygen er begrenset. Det er ikke påvist noen direkte sammenheng mellom fuktighet i tak og innvendige klimaproblemer, men det kan allikevel være fordelaktig å eliminere muligheten for mikrobiologisk vekst i taket. Man ønsker derfor å få oversikt over fuktforholdene i kompakte tak, med hensyn til oppfuktning og mulige mekanismer for selvuttørking som kan benyttes for å redusere fuktinnholdet. Aktuelle muligheter kan være økt uttørking med diffusjonsåpne sjikt i takkanter, eller utnytting av ulike typer konveksjonsmekanismer.

I denne prosjektrapporten er det beskrevet hvilke mekanismer som kan føre til uttørking av kompakte tak. Videre er det gjennomført beregninger av todimensjonal fukt- og varmetransport i kompakte tak med diffusjon og kapillærledning som transportmekanismer for fukt. Fukt- og varmetransport ved konveksjon er imidlertid utelatt i beregningsmodellen. Til arbeidet er beregningsprogrammet WUFI-2D benyttet. For å få et inntrykk av hvordan fuktforholdene varierer over tid, er beregningsperioden satt til tre år. Klimadata er hentet fra observasjoner i Oslo. Det er utført beregninger på fire ulike typer kompakte tak, med variasjon av tekningsmateriale og varmeisolasjon. For hver taktype er det også utført beregninger med et diffusjonsåpent sjikt i sidekanter for å studere i hvilken grad dette vil kunne øke uttørkingspotensialet for taket.

Prinsipiell oppbygning av de studerte takene utenfra og innover er tekningsmateriale, varmeisolasjon, dampspærre og innvendige gipsplater. Bærekonstruksjonen for takene er utelatt i beregningene, som en forenkling av systemet. Som varmeisolasjon er det benyttet plastisolasjon (EPS) eller mineralull (steinull). Som tekning har det vært benyttet asfalt takbelegg eller PVC takfolie. Virkningen av ulike materialvalg er deretter studert med hensyn til uttørkingsevne.

Resultatene viser at selvuttørkingsevnen for kompakte tak kan være begrenset, spesielt ved bruk av asfalt takbelegg som tekning. Et diffusjonsåpent sjikt i sidekanter på taket, kan i noen tilfeller øke uttørkingen betydelig. Konkrete løsninger vil studeres mer detaljert i framtidige prosjekter.

Noen forenklinger er gjort i de forskjellige analysene. Resultatene gir likevel et inntrykk av hvor stor uttørking man kan forvente for de undersøkte takene (når kun diffusjon betraktes).

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHold	5
1 INNLEDNING	6
1.1 FORMÅL OG OMFANG	6
1.2 KOMPakte TAK	6
1.3 FUKTOPPTAK I KONSTRUKSJONEN	7
2 UTTØRKINGSMEKANISMER I KOMPakte TAK	8
2.1 MEKANISMER FOR FUKTTRANSPORT	8
2.2 SELVUTTØRKING VED DIFFUSJON OG KONVEKSJON	8
2.2.1 <i>Vanndamppdiffusjon gjennom ytre overflater</i>	9
2.2.2 <i>Fukttransport ved naturlig konveksjon</i>	9
2.2.3 <i>Konveksjon gjennom utettheter i gesims</i>	10
2.2.4 <i>Konveksjon ved luftgjennomstrømning mellom sidekanter</i>	10
2.2.5 <i>Konveksjon ved gjennomstrømning fra utside til innside</i>	11
2.2.6 <i>Konveksjon ved gjennomstrømning fra innside til utside</i>	12
3 VANNDAMPDIFFUSJON – BEREgNINGER	13
3.1 BEREgNINGER.....	13
3.2 MATERIALVALG OG OPPBYGNING AV TAKKONSTRUKSJONENE	13
3.3 KLIMADATA OG STARTBETINGELSER	14
4 RESULTATER OG DISKUSJON	17
4.1 GENERELT	17
4.2 FUKTOMFORDELING I TAKENE	17
4.3 SELVUTTØRKINGSEVNE.....	18
4.4 FORENKLINGER OG USIKKERHET.....	19
5 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID	22
5.1 KONKLUSJON	22
5.2 VIDERE ARBEID.....	22
6 LITTERATUR	23

1 Innledning

1.1 Formål og omfang

Det er flere mekanismer som er aktive ved fukttransport i kompakte tak. I denne rapporten er de ulike mekanismene beskrevet med angivelse av hvordan de ulike faktorene for fukttransport kan føre til uttørking av både tradisjonelle og eksperimentelle løsninger av kompakte tak.

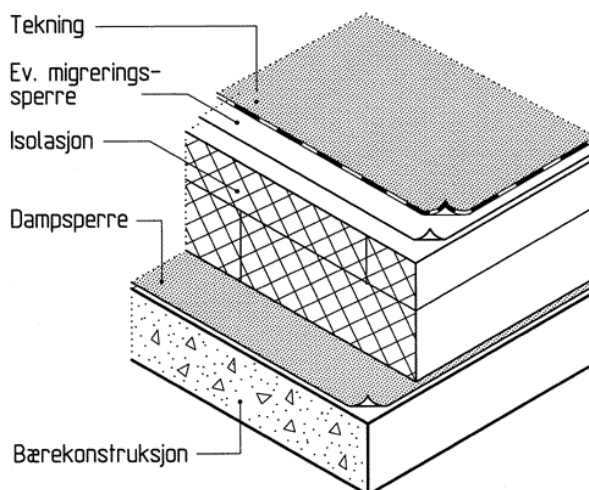
Hovedhensikten med beregningene omhandlet i denne rapporten har vært å få kunnskap om selvuttørkingsevnen av kompakte rettvendte tak, med diffusjon som transportmekanisme. Det er utført beregninger av koblet fukt- og varmetransport i takkonstruksjoner med en beregningsperiode på tre år. Forskjellige typer varmeisolasjon og tekningsmaterialer er vurdert. Simuleringene av tradisjonelle tak skal gi et grunnlag for å vurdere selvuttørkingsevne for eksisterende kompakte tak, mens de eksperimentelle løsningene kan gi et inntrykk av i hvilken grad dampåpne materialsjikt i konstruksjonen kan øke uttørkingsevnen.

Total uttørket fuktmenge og fuktfordelingen i ulike deler av konstruksjonen er studert. Kjennskap til fuktfordelingen kan benyttes til å vurdere hvilke deler av taket som er mest utsatt for mikrobiologisk vekst.

Resultatene kan indikere hvilke materialvalg og detaljløsninger som vil forbedre en, i utgangspunktet, begrenset uttørkingsevne. Sammen med laboratorie- og feltundersøkelser kan beregningsresultater danne et sikrere grunnlag for valg av detaljløsninger med best mulig bestandighet mot ytre klimapåkjenninger.

1.2 Kompakte tak

Takkonstruksjoner deles vanligvis inn i varme og kalde tak, avhengig av om taket er luftet, og hvordan vann dreneres fra takflaten ned til grunnen. Kalde tak har utvendig nedløp for drenert vann og lufting under tekningen, slik at snø på taket i kuldeperioder ikke smelter. Varme tak bør ha innvendig nedløp for regn- og smeltevann, og har ikke noe ventilerende luftsjikt under tekningen. Figur 1 viser en prinsipiell oppbygning av et rettvendt kompakt tak.



Figur 1

Eksempel på oppbygning av kompakt tak [1].

Kompakte tak er den dominerende taktypen for store bygninger. Disse kan enten være skrå eller flate, men må være i stand til å motstå vanntrykk fra oppdemmet vann i kortere perioder. Dette medfører høye krav til tekningsmaterialer og utførelse av tekkingsarbeider. Takene bygges i prinsippet opp av ett eller flere lag, hvor lagene ligger så tett mot hverandre

som mulig. Sjøktene med høy dampetthet (dampspærre og tekning) gjør at konstruksjonen har en begrenset uttørkingsevne, noe som kan resultere i at innebygd fukt blir værende i konstruksjonen over lang tid. Materialene mellom de dampspærende sjøktene bør derfor ikke være fuktømfintlige.

1.3 Fuktopptak i konstruksjonen

Fukt kan komme inn i tak på forskjellige måter. Blant annet vil betydelige nedbørsmengder i byggeperioden øke risikoen for å bygge inn fuktighet i takkonstruksjonen, spesielt dersom ikke værbeskyttende systemer blir benyttet. I tillegg kan det oppstå lekkasjer i løpet av byggeperioden på grunn av skader som oppstår ved ferdsel, etter at tekningsarbeidet er utført [2].

Det kan også oppstå lekkasjer i løpet av byggets videre levetid, ofte på grunn av valg av uegnede tekniske løsninger eller manglende kvalitet på utførelse av tekningsarbeid. Ved mangelfull utførelse rundt gjennomføringer eller avslutninger mot parapet eller vegg, kan man få vannlekkasjer inn til isolasjonssjøktet. I tillegg kan luftlekkasjer gjennom dampspærren føre fuktig inneluft ut i isolasjonen og resultere i kondensasjon i øvre deler av taket. På disse måtene kan til dels betydelige fuktmengder trenge inn i taket [2].

Minimumskravet til fallforhold for kompakte, flate tak er 1:40 mot renner og nedløp og 1:60 i renner og kilerenner [1]. Dersom helningen blir mindre enn dette, øker risikoen for stående vanddammer på takoverflaten. Stående vann og isdannelse utgjør en belastning på tekningen, som øker sjansen for lekkasje. Dersom fallforholdene er tilstrekkelige, vil lekkasjemengdene være moderate ved små utettheter i tekningen. Stående vann gir imidlertid grunnlag for betraktelig større lekkasjep problemer i forbindelse med utettheter i tekningen [2].

Et høyt fuktinnhold i isolasjonssjøktet vil, i tillegg til tap av varmeisolasjonsevne, føre til økt risiko for vekst av muggsopp og bakterier. Under uheldige omstendigheter kan disse mikroorganismene bli transportert inn i bygningen og gi negativ virkning på innemiljøet [2].

2 Uttørkingsmekanismer i kompakte tak

2.1 Mekanismer for fukttransport

Det finnes forskjellige mekanismer som i større eller mindre grad kan gi uttørking eller oppfukning av kompakte tak. De primære transportmekanismene er vanddampdiffusjon og konveksjon. I tabell 1 er disse og de øvrige mekanismene nærmere beskrevet.

Tabell 1

Forenklet framstilling av fukttransportmekanismer og deres drivkrefter [3].

Fase	Transportmekanisme	Drivkraft
Vanndamp	Vanndampdiffusjon	Forskjell i vanddamptrykk i luft over et materiale/komponent.
Vanndamp	Konveksjon	Forskjell i lufttrykk over et materiale/komponent evt. forskjell i lufttrykk inne i en konstruksjon. Et typisk eksempel på dette er fuktig inneluft som transporteres ut i konstruksjonen på grunn av utettheter og som kondenserer på kalde flater.
Væske	Gravitasjon	Tyngdekraft. Et typisk eksempel på hvordan denne drivkraften virker er lekkasjer fra taket og ned i underliggende konstruksjon.
Væske	Kapillærsug	Kapillærsug i porer skyldes adhesjonskrefter mellom vannet og poreoverflaten. Det fører til at vann trekkes inn i poren. Størrelsen på denne kapillærkraften er bestemt av vannets overflatespenning, porediameter og kontaktvinkelen mellom vannet og poreoverflaten. Ved likevekt er vannet i ro og kapillærkraften like stor som porevannstrykket multiplisert med porens tverrsnittsareal.

Hvilke av disse mekanismene som vil være dominerende er avhengig av type materiale og hvilken fukttilstand materialet eller komponenten befinner seg i. For ytterligere informasjon om hvordan fukt transporteres i materialer og konstruksjoner henvises det til boken ”Fukt i bygninger” [4].

2.2 Selvuttørking ved diffusjon og konveksjon

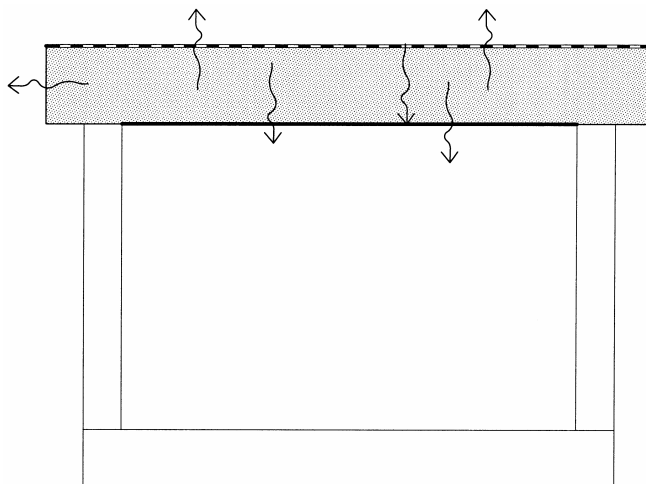
I prinsippet skal det ikke transporteres fukt inn eller ut av et tradisjonelt kompakt tak ved konveksjon, ettersom det ideelt sett ikke skal være utettheter i dampspærre eller tekning. Det vil imidlertid ofte være større eller mindre utettheter på grunn av skader eller utførelsesfeil. Dette kan enten bidra til oppfuktning eller uttørking av takkonstruksjoner på grunn av konveksjonsmekanismer. I praksis vil fukttransport foregå ved både diffusjon og konveksjon samtidig.

I kapittel 2.2.1 til 2.2.6 behandles de viktigste prinsippene skjematisk for hvordan selvuttørking av kompakte tak kan foregå [5]. Både selvuttørking ved diffusjon og konveksjon behandles. Figurer viser vertikalsnitt av kompakte tak med forskjellige linjetyper for ulike materialoverflater. En sort uthevet linje illustrerer dampspærren, mens stiplet linje viser tekningsmateriale. Den tynne linjen på gesims angir et eventuelt dampåpent materiale som kan benyttes til å øke selvuttørkingsevnen for taket. Pilene angir mulige transportveier for fukten.

Analysene i kapittel 3 og 4 behandler kun selvuttørking ved diffusjon. Selvuttørking ved konveksjon vil studeres nærmere i senere prosjekter.

2.2.1 Vanndampdiffusjon gjennom ytre overflater

Figur 2 viser hvordan diffusjon kan frakte vanndamp ut av konstruksjonen. Fukttransporten kan foregå både vertikalt oppover, vertikalt nedover og sideveis ut mot kantene. Ved diffusjon vertikalt oppover vil det være et høyere damptrykk i luften inne i taket enn i uteluften. Her må det være en damptrykkforskjell mellom luften inne og ute, og tekningen må være av et materiale med en viss dampåpenhet. I tillegg må tekningen være fri for oppdemmet vann og snø.



Figur 2

Skjematisk framstilling av vanndampdiffusjon gjennom ytre overflater i et kompakt tak.

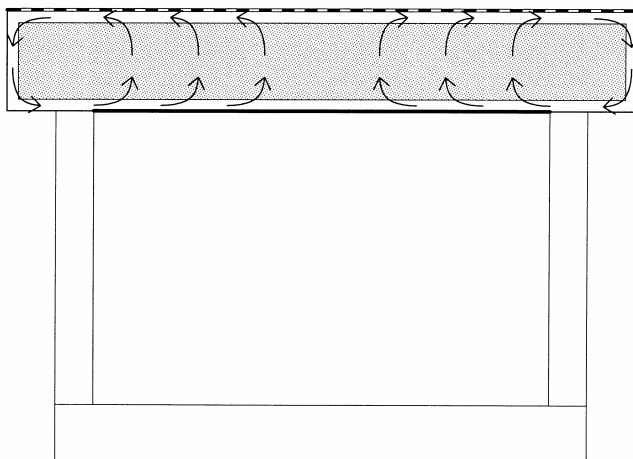
Diffusjon kan også foregå vertikalt nedover, hvor drivkraften vil være damptrykkforskjellen mellom luften inne i taket og luften inne i bygningen. Årsaken til denne transporten kan være høyt damptrykk på grunn av soloppvarming av fuktige materialer/vann i taket. Dampsperren må også ha en viss grad av dampåpenhet for at denne typen diffusjon skal forekomme. Fukttransporten er tilnærmet proporsjonal med damptrykkgradienten og omvendt proporsjonal med diffusjonsmotstanden.

Fukt kan også diffundere ut gjennom sidekantene av taket. Drivkraften her skyldes damptrykkforskjeller mellom luften inne i taket og uteluften, på samme måte som for diffusjon vertikalt oppover. Det kan for øvrig være ønskelig å benytte materialer med lav diffusjonsmotstand på disse flatene, for å øke uttørkingen ved diffusjon som transportmekanisme.

2.2.2 Fukttransport ved naturlig konveksjon

Figur 3 viser en prinsipiell skisse over hvordan naturlig konveksjon kan foregå inne i takkonstruksjonen. Ved høyere lufttemperatur inne enn ute, vil man få en termisk oppdrift som gir grunnlag for naturlig konveksjon. Da må isolasjonssjiktet ha en viss luftpermeabilitet, noe som for eksempel mineralull har.

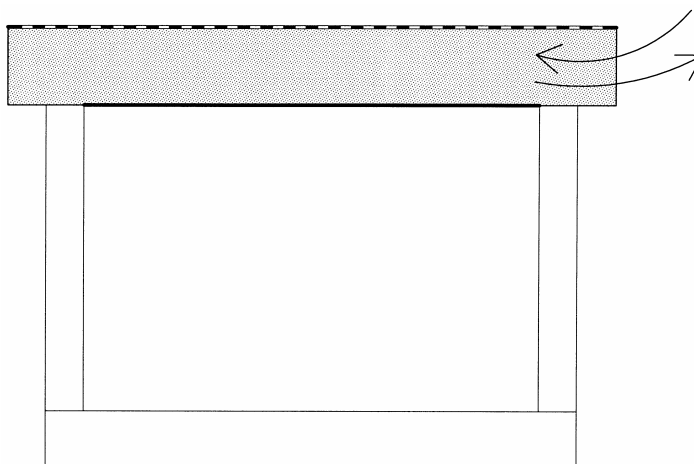
Ved å benytte materialer med en viss luftpermeabilitet i nedre grense av takutstikk, og lage kanaler i øvre og nedre del av isolasjonssjiktet, kan man se for seg at uttørkingseffekten ved naturlig konveksjon vil øke.



Figur 3
Skjematisk framstilling av hvordan naturlig konveksjon i takkonstruksjonen kan finne sted.

2.2.3 Konveksjon gjennom utettheter i gesims

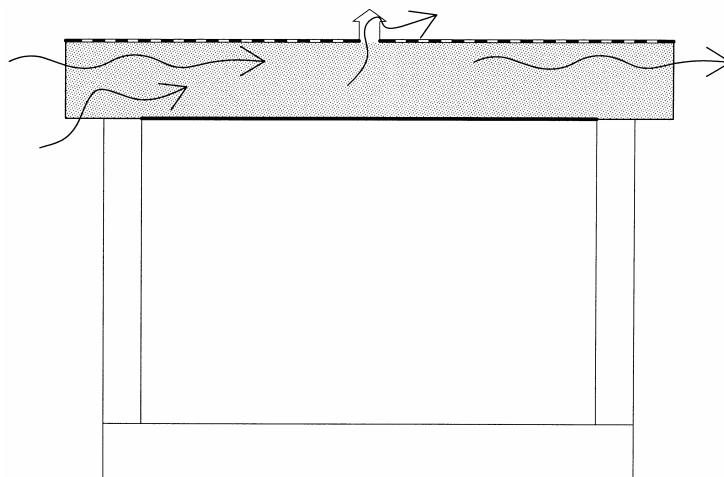
Figur 4 viser hvordan konveksjon kan foregå ved luftveksling med uteluft. Drivkrefter kan være varierende barometertrykk, middeltemperatur eller vindhastighet. Dersom dampsperrsjiktet er mer lufttett enn tekning og takkanter, vil man ved varierende potensialer få en luftveksling. Et materialsjikt med høy luftpermeabilitet i takkantene vil øke konveksjonseffekten.



Figur 4
Skjematisk framstilling av hvordan luftveksling med uteluft gjennom gesims med luftpermeabelt materiale kan øke selvuttørkingsevnen for taket.

2.2.4 Konveksjon ved luftgjennomstrømning mellom sidekanter

Figur 5 viser hvordan konveksjon ved gjennomstrømning av luft kan føre til uttørking av taket. Ved vindtrykkforskjeller ved hver takkant, luftpermeabel isolasjon og utettheter i hver takkant kan det oppstå luftgjennomstrømning. Kald luft med lavt damptrykk kan varmes opp over oppvarmet innvendig rom, dermed vil luftas fuktkapasitet øke. Luftstrømmen vil deretter kunne ta opp og transportere fukt ut på den andre siden, dersom temperaturen er høyere inne enn ute. Ved bruk av ventiler gjennom tekningen kan uttørkingseffekten økes. Denne løsningen kan imidlertid gi oppfukning ved klar nattehimmel ved at varm og fuktig luft vil kunne kjøles ned og kondensere mot taktekningen, i tillegg kan isolasjonsevnen bli redusert.

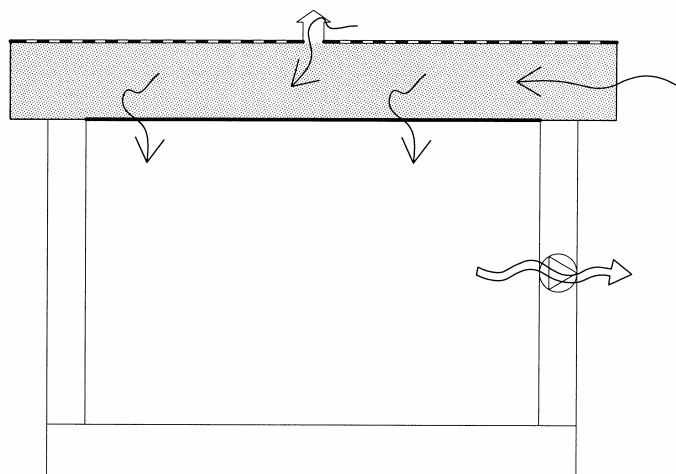


Figur 5

Skjematisk framstilling av hvordan luftstrømninger igjennom takkonstruksjonen kan benyttes til å øke selvuttørkingsevnen til taket.

2.2.5 Konveksjon ved gjennomstrømning fra utside til innside

Figur 6 gir en oversikt over en mulig konveksjonseffekt ved gjennomstrømning utenfra, igjennom taket og inn i bygget. Her kan strømmingen foregå for eksempel fra takkanter til innvendig rom, dersom det er en trykkforskjell mellom inne- og uteluft.



Figur 6

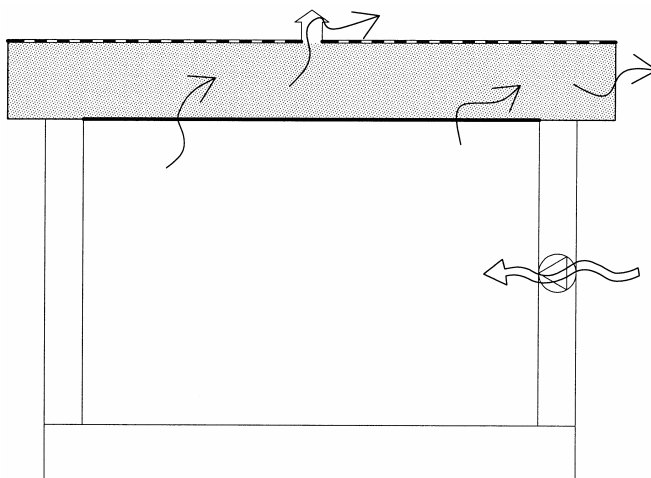
Skjematisk framstilling av hvordan luftstrømninger utenfra, igjennom taket og inn i bygningen kan øke selvuttørkingsevnen for taket.

I praksis vil undertrykksventilasjon være en vanlig årsak til dette. Luftstrømmene kan gå gjennom utettheter ved takkantene eller i dampsperre. For å øke effekten kan det være aktuelt å også her benytte luftpermeable materialer i takkantene.

En annen mulighet er luftgjennomstrømning fra takflate til innvendig rom. Også i dette tilfellet vil undertrykksventilasjon være en vanlig drivkraft. Konveksjonsstrømmene kan gå gjennom utettheter i tekning og dampsperre. Ved bruk av ventilert i takflaten kan det være mulig å øke denne effekten.

2.2.6 Konveksjon ved gjennomstrømning fra innside til utside

Figur 7 viser hvordan konveksjonsstrømmer kan gå i motsatt retning av foregående eksempel. Her går luftstrømmen innenfra og ut, både gjennom takkanter og tekning.



Figur 7

Skjematisk framstilling av hvordan luftstrømninger innenfra og ut av bygningen kan øke selvuttørkingsevnen for taket.

Drivkraften vil her være trykkforskjeller mellom inne- og uteluft, på grunn av termisk oppdrift, vindtrykk eller overtrykksventilasjon. Konveksjonsstrømmene kan også her gå gjennom utettheter i tekning og dampsperre, og kan økes ved luftpermeable materialer i sidekanter og bruk av ventiler i takflate. Denne konveksjonsformen vil for øvrig utgjøre en stor fare for oppfukning av taket i kaldere perioder.

3 Vanndampdiffusjon – beregninger

3.1 Beregninger

I forrige kapittel ble flere uttørkingsprinsipper beskrevet. I de etterfølgende beregningene vil kun diffusjonsmekanismene for fukttransport vurderes i forhold til uttørkingsevne.

Beregninger av fukt- og varmetransport er utført med programmet WUFI 2D [6]. Dette verktøyet er utviklet for todimensjonale beregninger av koblet fukt- og varmetransport i bygningskonstruksjoner over tid. For nærmere informasjon om programvare, se også www.wufi.no.

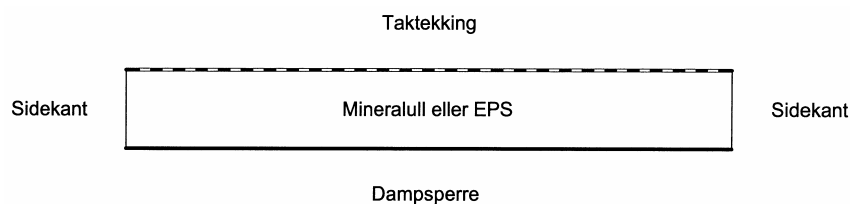
I simuleringene er det tatt utgangspunkt i fire forskjellige typer rettvendte kompakte tak, med variasjoner med hensyn til tekning- og isolasjonsmaterialer. Totalt utgjør dette åtte forskjellige simuleringsalternativer med hensyn på oppbygning. På bakgrunn av beregningene kan man studere fuktfordeling og forskjeller i uttørkingspotensiale for de forskjellige takalternativene i forhold til materialvalg og sammensetning. Beregningsperiode er satt til tre år for hver enkelt simulering.

3.2 Materialvalg og oppbygning av takkonstruksjonene

Flere forskjellige forenklede tak ble studert. Dette er prinsipløsninger som ikke er anbefalte detaljløsninger, beregningene er dermed ment å være grunnlagsmateriale for senere anbefalinger. Generelt var takene bygd opp av følgende materialsjikt, fra øvre mot nedre del av konstruksjonen:

- Tekningsmateriale (2 mm asfalt takbelegg eller 1,5 mm PVC takfolie)
- Isolasjon (300 mm mineralull eller 200 mm ekspandert polystyren, EPS)
- Dampsperre (0,2 mm PE-folie)
- Gips (13 mm)

I sidekantene var det en dampåpen vindspærre eller tekning, av samme type som på takflaten. Dersom dampåpen vindspærre skal benyttes i praksis må den bygges inn bak beslag eller lignende. En skjematisk framstilling av taket er vist i figur 8.



Figur 8

Skjematisk framstilling av oppbygningen til takene som ble simulert [8].

Det er ulike forenklinger i simuleringene, blant annet på grunn av begrensninger i beregningsprogrammet. Underliggende bærekonstruksjon er tenkt utført av betong, men er utelatt i beregningene som en forenkling av systemet. Det er for øvrig lagt en 13 mm gipsplate under dampsperren som skal simulere bærekonstruksjonen. For hver taktype er det også utført simuleringer der den diffusjonstette tekningen i sidekant er erstattet med diffusjonsåpen vindspærre. Denne variasjonen er betegnet med henholdsvis "a" og "b". Valgene for oppbygning og sammenstilling ble gjort i forkant av beregningene, med hensyn på hva man ønsket å studere. Tabell 2 viser spesifikk oppbygning av takene med hensyn til materialvalg for de 8 ulike beregningsalternativene.

Tabell 2

Oppbygning av takkonstruksjonene Tak 1a - Tak 4b.

	Taktekning	Isolasjon	Sidekant	Dampsperre
Tak 1a	Asfalt takbelegg (2 mm)	Mineralull (300 mm)	Asfalt takbelegg (2 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 1b	Asfalt takbelegg (2 mm)	Mineralull (300 mm)	Vindsperre (0,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 2a	PVC (1,5 mm)	Mineralull (300 mm)	PVC (1,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 2b	PVC (1,5 mm)	Mineralull (300 mm)	Vindsperre (0,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 3a	Asfalt takbelegg (2 mm)	EPS (200 mm)	Asfalt takbelegg (2 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 3b	Asfalt takbelegg (2 mm)	EPS (200 mm)	Vindsperre (0,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 4a	PVC (1,5 mm)	EPS (200 mm)	PVC (1,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)
Tak 4b	PVC (1,5 mm)	EPS (200 mm)	Vindsperre (0,5 mm)	PE-folie (0,2 mm)

Materialvalg og konstruksjonsløsning vil ha avgjørende betydning for selvuttørkingsevnen til et kompakt tak. Når man studerer uttørking ved diffusjon vil spesielt diffusjonsegenskapene til materialene være av stor betydning. For et materialsjikt kan diffusjonsmotstanden angis som ekvivalent luftlagstykkelse (s_d -verdi). Den har benevning i meter, og er definert som tykkelsen av et stillestående luftlag med samme vanndampmotstand som det aktuelle materialsjikt [3]. Høy s_d -verdi indikerer større motstand mot dampdiffusjon enn en lav verdi. Byggforskserien [7] anbefaler $s_d > 10$ m for dampsperrer i bygninger uten spesiell stor fuktbelastning, men på grunn av skaderisiko anbefales det bruk av PE-folie på 0,2 mm i kompakte tak med bærekonstruksjon av betong. Dette gir en s_d -verdi på 90 m, som er benyttet i beregningene.

Tabell 3 viser egenskapene for de ulike materialene som ble benyttet i simuleringene (kun egenskapene for tørt materiale er tatt med i tabellen). For enkelte materialer er det også benyttet fuktavhengige egenskaper (for eksempel så varierer konduktiviteten til enkelte materialer med fuktinnholdet). Disse egenskapene er ikke tatt med her.

Tabell 3

Basisparametere for de ulike materialene som ble benyttet i beregningene.

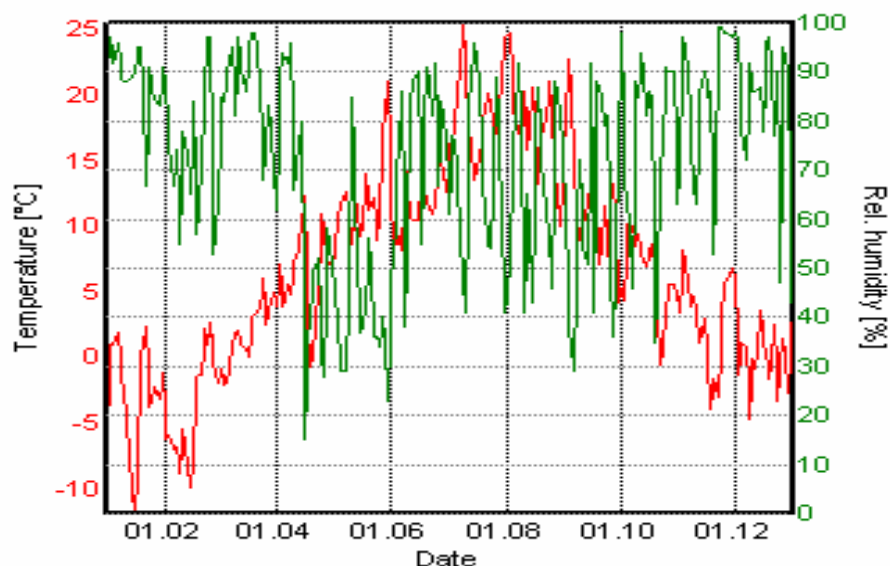
Materialer	Densitet [kg/m ³]	Porøsitet [m ³ /m ³]	Spesifikk varmekapasitet c_p [J/Kg K]	Varme- ledningsevne λ_p [W/(m K)]	Ekvivalent luftlagtykkelse s_d -verdi [m]
Mineralull 300 mm	60	0,95	850	0,04	0,22
EPS 200 mm	20	0,95	1500	0,04	9,6
PE-folie 0,2 mm	130	0,001	2300	2,3	90
Asfalt tak- belegg 2 mm	2400	0,001	1000	0,5	500
PVC takfolie 1,5 mm	1000	0,001	1500	0,16	26
GU 13 mm	1721	0,305	850	0,2	0,066
Vindsperre 0,5 mm	145	0,1	1000	1	0,5

3.3 Klimadata og startbetingelser

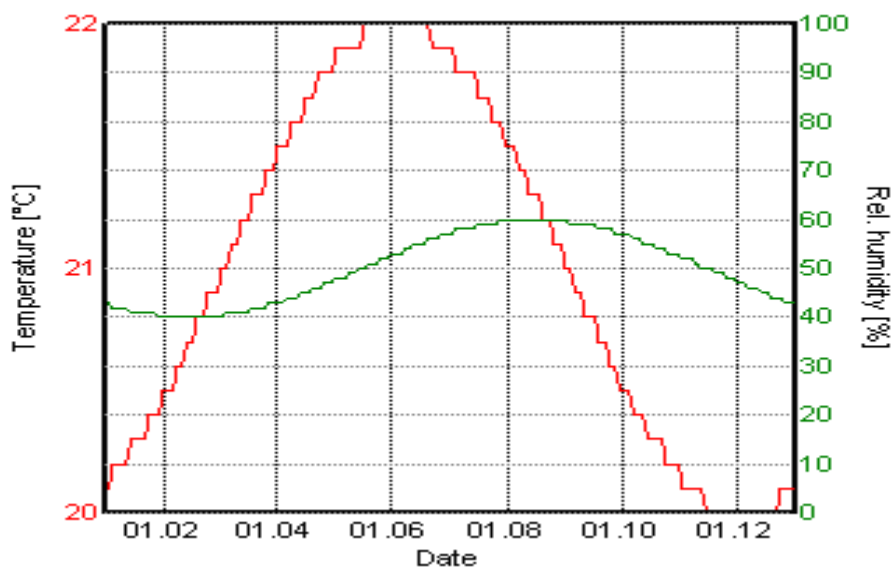
Ved numeriske simuleringer ønsker man å etterligne den virkelige situasjonen som konstruksjonen utsettes for i praksis. Derfor benytter man klimadata (for eksempel fra det Norske meteorologiske institutt) for å beskrive det utvendige klimaet (med angivelse av lufttemperatur, solstråling, luftfuktighet etc.).

Klimafilene som er benyttet representerer en kritisk fuktbelastning med en returperiode på 10 år. Siden kritisk fuktbelastning varierer i forhold til konstruksjonstype, er det benyttet

flere ulike konstruksjoner som vurderingsgrunnlag. Klimafilene som benyttes inneholder klimadata for ett år. Ved beregninger ut over denne tidsperioden, repeteres innlesningen av filen til ønsket beregningsperiode er fullført. I beregningene som er utført her er det benyttet klimadata fra Oslo, fra året 1991. I figur 9 vises en grafisk framstilling av utendørs temperatur og RF i løpet av dette året. På innvendig side av konstruksjonen ble temperatur og luftfuktighet spesifisert som vist i figur 10.



Figur 9
Grafisk framstilling av utendig temperatur og RF fra klimadata i referanseåret.



Figur 10
Grafisk framstilling av innvendig temperatur og relativ fuktighet i referanseåret.

Takene ble simulert med en beregningsperiode på tre år. På grunn av numeriske problemer måtte det benyttes døgngjennomsnittlige klimadata, noe som kan ha noe innvirkning på resultatet. For øvrig ble dette vurdert som uproblematisk på bakgrunn av flere kontrollberegninger med timesbaserte klimadata. Sannsynligvis foregår dampdiffusjonen gjennom tekning og dampspærre så langsomt at kraftige klimavariasjoner over få timer ikke

vil påvirke den langsomme uttørkingen. På bakgrunn av dette anses det som tilstrekkelig å benytte døgngjennomsnittlige klimadata.

Ved starten av beregningen ble det antatt at konstruksjonen hadde temperaturen 10 °C og at fuktinnholdet i hele konstruksjonen var 0, unntatt i de ti nederste millimeterne av isolasjonen. Der var fuktinnholdet 100 kg/m³. Dette tilsvarer en millimeters vannfilm (1 kg vann per m²) på oversiden av dampspærren.

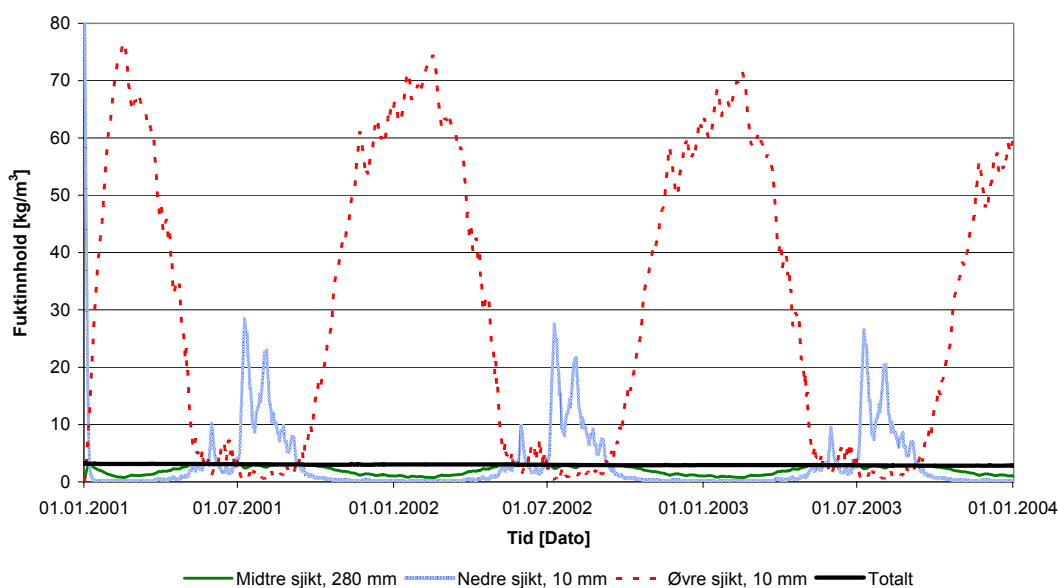
4 Resultater og diskusjon

4.1 Generelt

Resultater fra beregningene omfatter både hvordan fuktfordelingen i isolasjonssjiktet forandrer seg i løpet av beregningsperioden, i tillegg til total uttørket fuktmengde for de ulike taktypene. I denne rapporten er imidlertid kun et utvalg av disse resultatene presentert. For ytterligere resultater henvises det til [8].

4.2 Fuktfordeling i takene

Figur 11 viser beregnet fuktfordeling i forskjellige deler av Tak 1a som funksjon av tid. Taket har mineralull isolasjon, dampsperre på innvendig side og asfalt takbelegg både som tekning og langs sidekantene. Dette er den taktypen som, sammen med Tak 3a, har minst uttørkingsevne. Årsaken til dette er at damp tettheten til asfalt takbelegg er nesten 20 ganger høyere enn for PVC takfolie. Fuktinnholdet (kg/m^3) er vist for hele konstruksjonen og i forskjellige deler av isolasjonen; nederste 10 mm, midtre 280 mm og øverste 10 mm.



Figur 11

Fuktinnhold i forskjellige deler av Tak 1a som funksjon av tid.

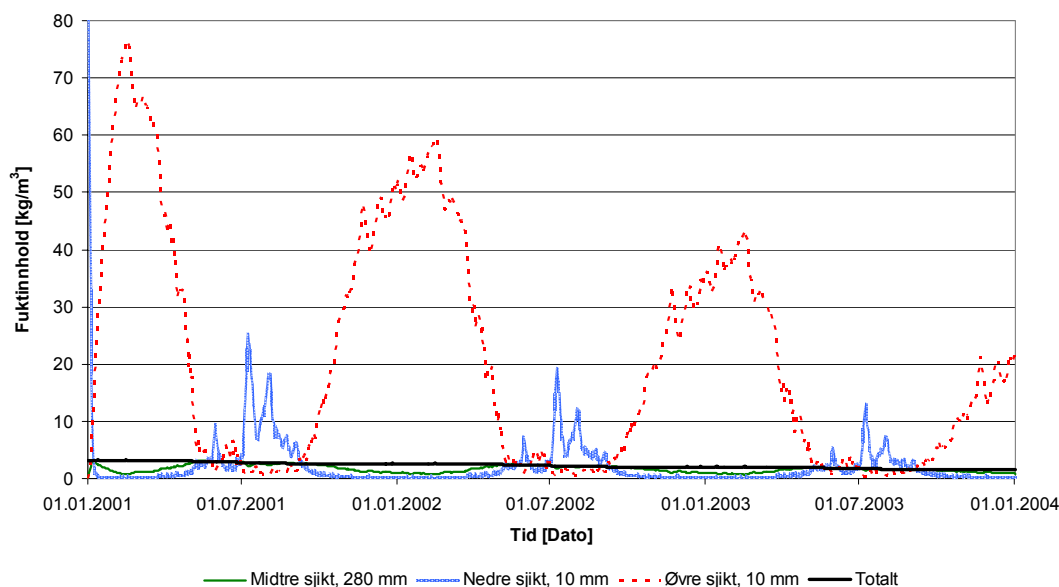
Kurvene viser at fuktinnholdet i nedre mineralullsjikt omfordes til midtre og øvre sjikt i løpet av et par måneder. Dette skyldes store temperaturgradienter mellom inne- og uteluft, som øker fukttransporten vertikalt oppover. I sommerhalvåret går deler av fuktmengden tilbake til nedre 10 mm av mineralulla. Årsaken til dette er høye temperaturer under tekningen, som øker damptrykkforskjeller mellom øvre og nedre del av mineralullsjiktet. Dette fører til en fuktansamling i nedre deler av isolasjonssjiktet.

I vintermånedene vil det høye fuktinnholdet i øvre deler av isolasjonssjiktet føre til kondens- og isdannelse på grunn av lave temperaturer oppunder tekningen. For den nedre delen av mineralullsjiktet er det liten fare for kondens i løpet av sommeren på grunn av høye temperaturer inne i konstruksjonen. Årsaken til de kraftige variasjonene er i hovedsak temperaturdifferanser mellom ute- og inneluft og mineralullas lave diffusjonsmotstand.

Omfordelingen av fukten viser den samme tendensen i hele beregningsperioden, og kurven for totalt fuktinnhold viser at taket vil ha en svært begrenset evne til selvuttørking.

Figur 12 viser beregnet fuktfordeling i forskjellige deler av Tak 2a som funksjon av tid. Forskjellen fra Tak 1a er kun tekningsmateriale, som her er PVC takfolie i stedet for asfalt takbelegg. I det første halve året av beregningsperioden ser man at tendensen for omfordeling av fukt er den samme som for Tak 1a. Den lavere diffusjonsmotstanden til PVC takfolie fører imidlertid til større uttørking, slik at maksnivåene for fuktinnhold synker i de ulike sjiktene av mineralullula i løpet av beregningsperioden.

Selv om uttørkingspotensialet er større for denne taktypen, vil det også her være fare for kondens- og isdannelse i den øvre delen av mineralullsjiktet i vinterperioden.



Figur 12
Fuktinnhold i forskjellige deler av Tak 2a som funksjon av tid.

4.3 Selvuttørkingsevne

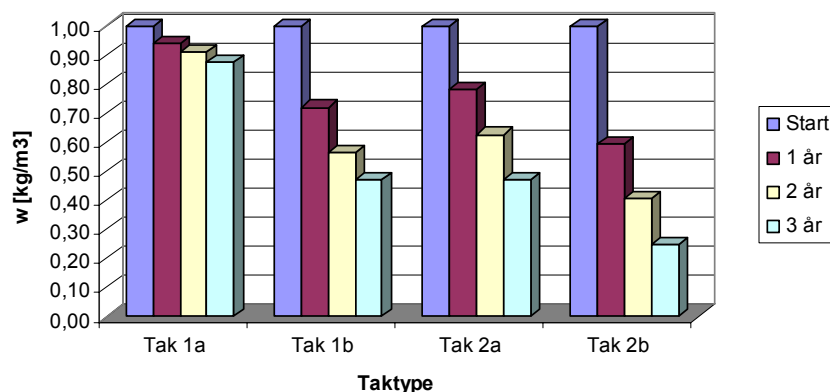
I tillegg til variasjon av fuktinnhold i ulike deler av taket har det også vært ønskelig å studere selvuttørkingsevnen til de ulike taktypene ved å sammenligne total fuktmengde i forskjellige tak over tid. Totalt fuktinnhold i de ulike takene er vist i tabell 4 og i figurene 13 og 14. I tabellen og figurene angir *Start* fuktinnholdet ved starten av simuleringen, *1 år* angir fuktinnholdet ved slutten av det første året, *2 år* angir fuktinnholdet ved slutten av det andre året og *3 år* angir fuktinnholdet ved slutten av beregningen.

Tabell 4
Totalt fuktinnhold i de ulike taktypene.

Tid	Totalt fuktinnhold [kg/m ²]							
	Tak 1a	Tak 1b	Tak 2a	Tak 2b	Tak 3a	Tak 3b	Tak 4a	Tak 4b
Start	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1 år	0,94	0,72	0,78	0,59	0,98	0,89	0,74	0,76
2 år	0,91	0,56	0,63	0,41	0,94	0,81	0,61	0,55
3 år	0,88	0,47	0,47	0,25	0,87	0,76	0,37	0,35

Figur 13 viser hvordan det totale fuktinnholdet i de ulike taktypene med mineralullisolasjon (Tak 1a – Tak 2b) reduseres i løpet av tre år. Figuren viser at Tak 1a har liten evne til selvuttørking på grunn av den høye diffusjonstettheten til asfalt takbelegg (12 %), mens for Tak 1b er over halvparten av fuktmengden (53 %) tørket ut etter tre år. Dette betyr at bruk av diffusjonsåpen vindspærre i sidekant kan ha stor innvirkning på fuktmengde som kan tørke uttørkingspotensialet for denne taktypen. For Tak 2a er tekningen erstattet med PVC

takfolie, som har en betraktelig lavere damptetthet enn asfalt takbelegg. Dette gjør at uttørket fuktmengde etter tre år er tilsvarende som for Tak 1b (53 %). Tak 2b har diffusjonsåpen vindspærre i sidekanter, som også resulterer i en økning av uttørket fuktmengde. Virkningen er for øvrig ikke på langt nær så utpreget som for Tak 1, men total uttørking er på 75 %.

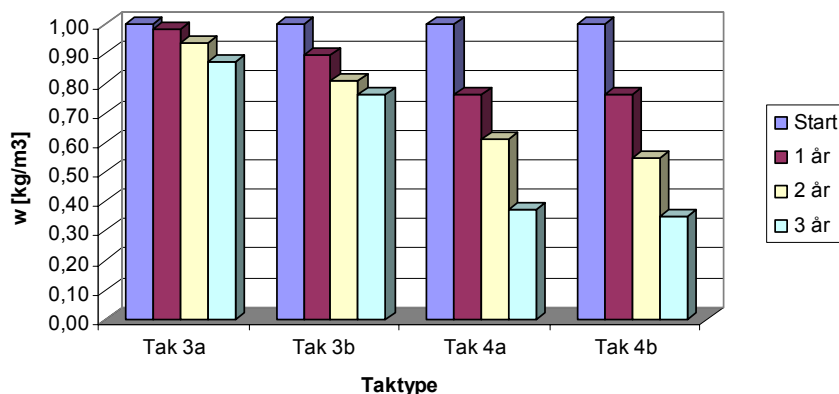


Figur 13

Totalt fuktinnhold i takene med mineralullisolasjon som funksjon av tid.

Figur 14 viser en sammenligning av det totale fuktinnholdet for tak 3a - 4b fra starten til slutten av beregningsperioden. Disse takene har ekspandert polystyren (EPS) som varmeisolasjon. Av disse fire alternativene er Tak 3a det mest diffusjonstette, og viser lite potensiale for uttørking i løpet tre år (13 %). Tak 3b har diffusjonsåpne sjikt i sidekanter, men har likevel liten økning i uttørking, med total uttørkingsgrad på 24 %. Dette kan skyldes den økte diffusjonsmotstanden i EPS-laget.

Tak 4a har PVC takfolie som tekning, og viser derfor en økt uttørking gjennom hele perioden (63 %) i forhold til Tak 3a. Virkningen av diffusjonsåpent sjikt i sidekant for Tak 4b er minimal, med en total økning på 2 % i forhold til tak 4a. Dette kan også her antageligvis skyldes den økte diffusjonsmotstanden i EPS-laget.



Figur 14

Totalt fuktinnhold i takene med ekspandert polystyren som varmeisolasjon som funksjon av tid.

4.4 Forenklinger og usikkerhet

Samtlige beregninger som er utført har i større eller mindre grad en usikkerhetsfaktor som kan utgjøres av flere forskjellige forhold. Viktige faktorer kan være:

- Begrensninger i beregningsmodell (blant annet 2-dimensjonal begrensning)
- Unøyaktige/utilstrekkelige inngangsdata
- Takbredde på kun 9 meter på grunn av programvarebegrensning

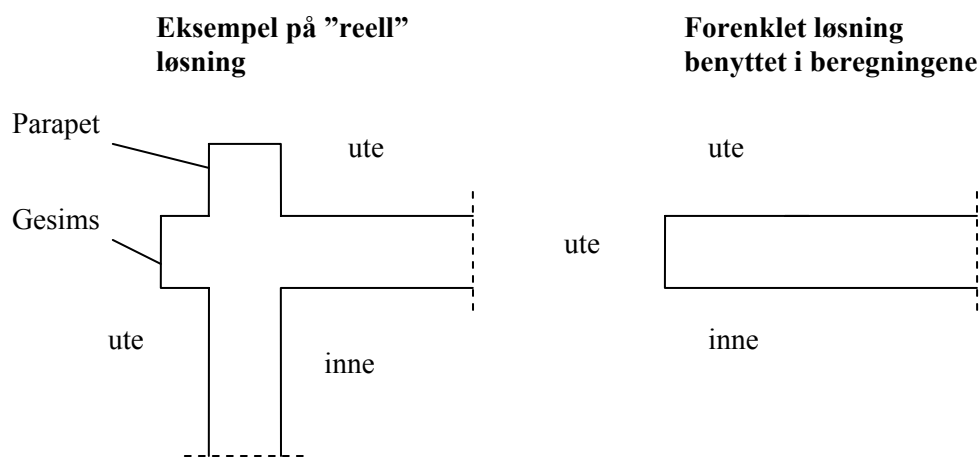
- Forenklet detaljløsning
- Materialsjiktene betraktes som ideelle

For beregning av fukt- og varmetransport over tid vil det være nødvendig med forenklinger i den matematiske modellen, på grunn av kompleksiteten til fukt- og varmetransport i praksis. Dette kan gi utslag i resultatene ved at modellen avviker i forhold til en reell situasjon. Ved uheldig sammenstilling av konstruksjonen kan det videre for eksempel oppstå numeriske problemer, ved at ligningene som løses ikke konvergerer. Dette kan påvirke påliteligheten til resultatet. Numeriske problemer kan imidlertid kontrolleres i resultatene, slik at nødvendige tilpasninger kan utføres.

For gjennomføring av simuleringer kreves det en rekke forskjellige inngangsdata. Utilstrekkelig kunnskap om disse kan ha til dels stor innvirkning på resultatene. I beregningene som er utført her vil antageligvis usikre verdier for materialparametere utgjøre den største usikkerhetsfaktoren i forhold til inngangsdata.

På grunn av begrensinger i WUFI 2D er det benyttet en todimensjonal modell for et reelt tredimensjonalt tak. Dette medfører at taket måtte betraktes som uendelig lang i den manglende dimensjonen. På grunn av numeriske forhold måtte samtidig takbredden settes til kun 9 meter. Kompakte tak benyttes ofte på større bygninger, som vil ha dimensjoner flere ganger større enn dette. Det vil være grunn til å tro at diffusjonsåpne sidekanter i tak med bredde på ni meter vil gi et uttørkingspotensial som er større enn for et tak med større bredder. Imidlertid kan den todimensjonale begrensningen redusere denne virkningen, siden taket er uendelig i lengderetningen.

De begrensede mulighetene for sammenstilling av konstruksjonen har gjort det nødvendig med en forenklet detaljløsning i forhold til reell situasjon. Figur 15 viser hvilke forenklinger som er gjort, som følge av dette.



Figur 15
Skjematisk framstilling av "reell" og forenklet takløsning.

For et reelt tak vil en bærende vegg gjøre det nødvendig med varierende grensebetingelser for den nedre flaten. Taket kan også eventuelt ha gesims og parapet, som gjør det nødvendig å variere grensebetingelsene over den nedre og øvre flaten. På grunn av dette vil det være en urealistisk høy temperaturgradient over nedre hjørne av taket.

I beregningene er det ikke tatt hensyn til mulig hygrotermisk innvirkning fra utelatelse av bærekonstruksjon, materialsjiktens utettheter på grunn av skjøter eller overganger, og

eventuelle skader. Disse forenklingene kan i ulik grad ha innvirkning på konstruksjonenes reelle uttørkingsevne.

Det er en rekke faktorer som kan ha innvirkning på påliteligheten av samtlige resultater, men ulike innfallsvinkler i forhold til beregningsalternativer har i en viss grad bidratt til å underbygge troverdigheten av resultatene.

5 Konklusjon og videre arbeid

5.1 Konklusjon

På bakgrunn av potensielle risikofaktorer ved høyt fuktinnhold i kompakte tak, er mulige selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak beskrevet. I tillegg er det utført todimensjonale beregninger for fukt- og varmetransport i denne typen tak, med diffusjon og kapillærledning som transportmekanismer. Resultatene viser til dels store variasjoner i det totale fuktinnholdet og fuktfordeling i øvre og nedre lag av isolasjonslaget, i forhold til valg av varmeisolasjon og tekningsmateriale. Resultatene viser at tak med PVC takfolie gir grunnlag for best selvuttørkingsevne, med økt effekt ved bruk av diffusjonsåpen vindspærre i takkanter. Bruk av EPS varmeisolasjon gjør at effekten med diffusjonsåpen sidekant reduseres, på grunn av høyere diffusjonsmotstand i isolasjonslaget. Takene med mineralullisolasjon og tekning av asfalt takbelegg har minimal uttørking i løpet av beregningsperioden på tre år. Imidlertid økes effekten betraktelig ved bruk av diffusjonsåpent sjikt i sidekanter. Selvuttørkingsevnen for kompakte tak kan være begrenset, men et diffusjonsåpent sjikt i sidekant kan i noen tilfeller øke potensialet for uttørking.

5.2 Videre arbeid

I de numeriske beregningene som er beskrevet her ble kun fukttransport ved diffusjon studert. I videre studier av fukt- og varmetransport i kompakte tak vil det være naturlig å inkludere fukttransport ved konveksjon. Dette kan gjøres ved laboratorieforsøk, felt/pilot-prosjekt eller ved bruk av mer avanserte beregningsmodeller [10].

Parametere for ulike materialdata kan variere i forhold til kilder, forsøksmetoder og ulike produsenter. Siden disse variasjonene kan gjøre til dels store utslag i beregningsresultatene, vil det være nødvendig med produktspesifikke laboratoriemålinger av samtlige hygrottermiske egenskaper for aktuelle materialer. Dette kan bidra til å øke påliteligheten til framtidige beregninger.

Innen forskningsprogrammet Klima 2000 har det allerede blitt utført en feltundersøkelse på eksisterende tak [9]. I denne undersøkelsen ble blant annet takenes fuktinnhold målt. Denne undersøkelsen ble sommeren 2004 fulgt opp med en ny feltundersøkelse for å finne ut om de undersøkte takene har hatt en viss selvuttørkingsevne. Det kan være aktuelt å benytte resultater fra disse målingene som grunnlag for nye beregninger.

Et pilotprosjekt kan utføres ved bygging av et forsøkshus, utført med kompakt tak bestående av ulike takseksjoner. Konstruksjonsløsningene kan være av både tradisjonell og eksperimentell karakter. For de eksperimentelle løsningene kan det være aktuelt å benytte konveksjonsmekanismer, som beskrevet tidligere, til å øke uttørkingen. Eksperimentelle og tradisjonelle takkløsninger kan vurderes opp mot hverandre på bakgrunn av både målte og beregnede verdier. Dette gir grunnlag for både eksperimentell vurdering av ulike konstruksjonsløsninger og kunnskap om forventet nøyaktighet i aktuelle beregningsverktøy. Ved beregning av fukt- og varmetransport i denne typen eksperimentelle løsninger, bør også konveksjon inkluderes i beregningsmodellen.

Det utvikles stadig mer komplekse beregningsmodeller for bruk til simulering av varme- og fukttransport i bygningskomponenter. Ved inkludering av flere fukttransportmekanismer, vil man kunne forvente mer nøyaktige resultater. Det vil derfor være aktuelt å benytte denne typen programmer til framtidige beregninger, fortrinnsvis med inkludering av konveksjonsmekanismer. Dette vil bidra til å danne et bredest mulig grunnlag for anbefalinger av nye løsninger. Arbeidet bør generelt sett rettes inn mot studier av konkrete tekniske løsninger som kan fremme selvuttørkingen men samtidig hindre tilførsel av fukt til taket.

6 Litteratur

- [1] Byggedetaljer 525.207 (2000)
Kompakte tak. Del I og II, Byggeforskserien, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [2] Byggedetaljer 725.118 (1996)
Skader i kompakte tak. Årsaker og utbedring, Byggeforskserien, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [3] Time, B., Kvande, T., Terjesen, K. og Sæter, Ø. (2004)
Fukttransport i mineralske bygningsmaterialer – materialegenskaper, Prosjektrapport 369, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [4] Gjeving, S. og Thue, J.V. (2002)
Fukt i bygninger, Håndbok 50, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [5] Uvsløkk, S. (2003)
Oversikt over uttørkingsmekanismer i kompakte tak, NBI-notat, Norges byggforskningsinstitutt, Trondheim.
- [6] Künzel, H.M., Holm, A. og Schmidt, T. (2000)
WUFI-2D Program description, Fraunhofer-Institut for Building Physics, Holzkirchen.
- [7] Byggedetaljer 525.002 (1996)
Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materiale, Byggeforskserien, Norges Byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [8] Oustad, M. (2003)
Fukt- og varmetransport i kompakte tak, Fordypningsprosjektoppgave, Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- [9] Noreng, K. (2003)
Prosjektrapport 2003. Fukt i kompakte tak (fase 1), Delrapport fra prosjekt 12 i FoU-programmet "Klima 2000", Prosjektrapport 351, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- [10] Lisø, K. R., Kvande, T. (2004)
Klima 2000 - Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner - Program 2000 - 2006, Programbeskrivelse, NBI-rapport O 10210-99, rev. dato 13.03.2004, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.



Norges byggforskningsinstituts forskningsprogram Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner retter søkelyset mot klimatilpasning av bygninger og bygningskonstruksjoner under strengere ytre klimabelastninger. Programmet vil pågå frem til utgangen av 2006 og består av 14 ulike prosjekter. Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsippløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger, samt kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø – og hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm.