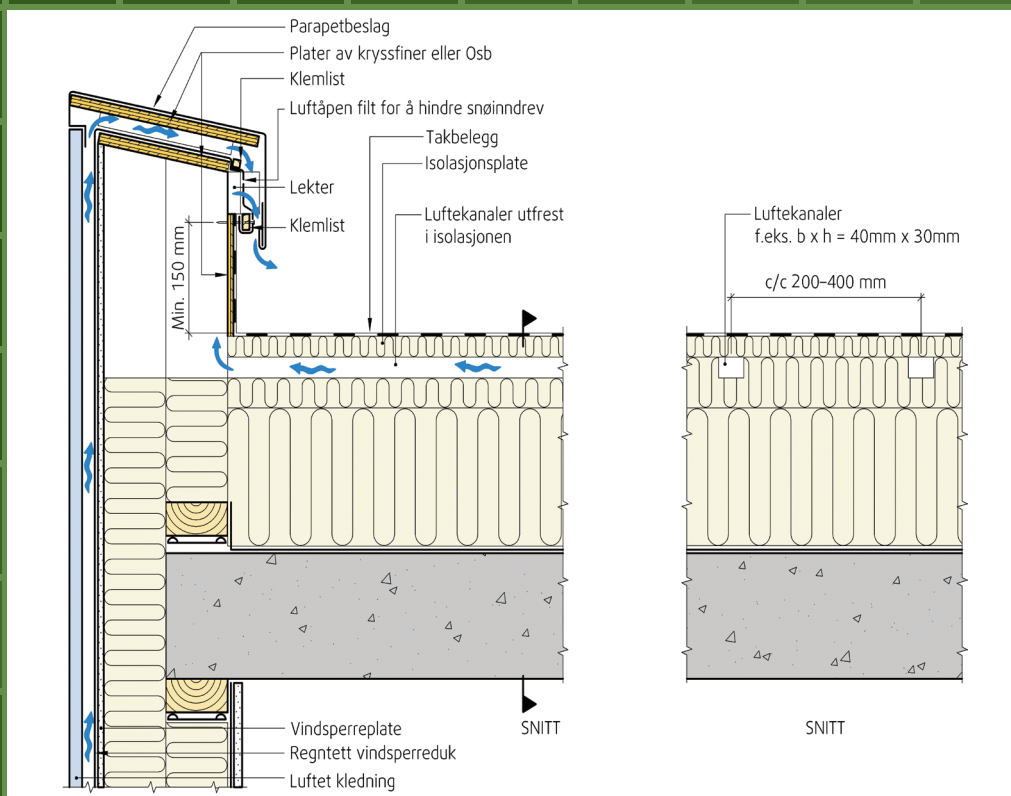


KNUT NORENG OG SIVERT UVSLØKK

Robuste kompakte tak med luftekanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørkingsevne

Prosjektrapport 63

2010



SINTEF Byggforsk

Knut Noreng og Sivert Uvsløkk

Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørrkingsevne

Prosjektrapport 63 – 2010

Prosjektrapport nr. 63
Knut Nøreng og Sivert Uvsløkk

Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonssjiktet og økt selvuttørkingsevne

Emneord:

Tak, kompakte tak, fukt, uttørking, forbedret selvuttørkingsevne, luftkanaler og varmetap

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1174-7 (pdf)

ISBN 978-82-536-1175-4 (trykk)

100 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2010

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

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

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring er en løsning av kompakte tak med små kanaler i isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning for kontrollert luftgjennomstrømning og derigjennom økt evne til selvuttørring. Denne prosjektrapporten oppsummerer delaktivitet B i ”Robuste kompakte tak” og tre tidligere arbeider utført i FoU programmet ”Klima 2000” [1]. Vi har gjennom flere studier sett at utilsiktet luftgjennomstrømning i kompakte tak kan bidra til økt uttørring. Gjennom en systematisk oversikt over de viktigste uttørringsmekanismene som kan opptre, har vi også forsøkt å kvantifisere hvilket uttørringspotensial de ulike mekanismene har. Kvantifiseringen er hovedsakelig gjort på grunnlag av teoretiske beregninger, men erfaringstall fra feltundersøkelsen ”Fukt i kompakte tak” er også lagt til grunn. I prosjektrapporten er forskjellige aspekter diskutert, og det er gitt anbefalinger om utførelse av robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring.

ROBUST *Robust envelope construction details for buildings of the 21. century* er et forskningsprosjekt som retter søkelyset mot klimatilpassede, miljø- og energieffektive løsninger for dagens og fremtidens bygninger. Prosjektets hovedmål er å utvikle ny kunnskap og nye metoder for bruk av robuste konstruksjonsdetaljer og løsninger, og bruk av effektive isolasjonsmaterialer i godt isolerte bygninger. Robuste konstruksjonsdetaljer og løsninger oppnås gjennom bruk av materialer og løsninger som har stor sikkerhet mot feil som kan gi fuktproblemer, og som med stor sikkerhet tilfredsstiller kravene i Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK07).

ROBUST ledes av SINTEF Byggforsk (vertsinstusjon) og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og gjennomføres i samarbeid med AF Gruppen ASA, Glava A/S, Hunton Fiber AS, Icopal as, Isola as, Jackon AS, maxit as, Moelven ByggModul AS, Rambøll Norge AS, Skanska Norge AS, Statsbygg og Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF). Prosjektet ble igangsatt våren 2008 og vil pågå til utgangen av 2011.

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

Oslo/Trondheim, oktober 2010

Vivian Meløysund
SINTEF Byggforsk
Prosjektleder ROBUST

Jan Vincent Thue
NTNU
Vitenskapelig ansvarlig i ROBUST

Sammendrag

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

Kompakte tak anbefales derfor bygget av materialer som tåler fukt og som ikke er utsatt for råtesopp. Muggsoppvekst kan en imidlertid ikke hindre helt gjennom materialvalg. Muggsopp svekker ikke takkonstruksjonens bæreevne, men sopp sporer og mykotoksiner fra muggsopp kan i verste fall spre seg fra taket og inn i bygget og virke negativt inn på inneluftkvaliteten. Muggsopp er derfor uønsket, også i kompakte tak.

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

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

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

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

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

For at robuste kompakte tak med økt selvuttørkingsevne og med luftekanaler i isolasjonen, generelt skal kunne anbefales er det planlagt å gjennomføre et pilotprosjekt med målinger i et virkelig 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 et virkelig tak under reelle værforhold. Praktiske forsøk vil også være viktige for å videreutvikle gode og enkle detaljløsninger.

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

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

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG.....	4
1 INNLEDNING.....	6
1.1 FORMÅL	6
1.2 TRADISJONELLE KOMPakte TAK	6
1.3 ROBUSTE, KOMPakte TAK MED ØKT EVNE TIL SELVUTTØRKING	7
2 BAKGRUNNSDOKUMENTASJON	8
2.1 GENERELT	8
2.2 FUKT I KOMPakte TAK. EN FELTUNDERSØKELSE I TRE FASER.....	8
2.3 SELVUTTØRKINGSMEKANISMER FOR KOMPakte TAK.....	10
2.4 KOMPakte TRETAK MED INNEBYGGET FUKTIGHET.....	13
3 GJENNOMSTRØMNING AV UTELUFT OG UTTØRKINGSPOTENSIALE.....	15
3.1 RESULTERENDE VINDTRYKKFORSKJELL MELLOM INNLØP OG UTLØP	15
3.2 SAMMENHENG VINDTRYKK PÅ STEDET OG LUFTGJENNOMSTRØMNING I KANALENE.....	17
3.3 LUFTFUKTIGHET OG TEMPERATUR OG EVNE TIL SELVUTTØRKING.....	18
3.4 MÅLING AV LUFTÅPENHET AV FILT TIL SKJERMING AV INNLØPSSPALTER	18
3.5 VURDERINGER AV UTTØRKINGSPOTENSIALET	19
3.6 LUFTGJENNOMSTRØMNING OG ENERGITAP.....	21
4 PARAPETUTFORMING.....	23
5 LUFTGJENNOMSTRØMNING OG RISIKO FOR BRANNSPREDNING	24
6 FORELØPIGE ANBEFALINGER.....	26
6.1 BRUKSOMRÅDE.....	26
6.2 LØSNINGER	26
7 OPPSUMMERING	29
REFERANSER.....	32

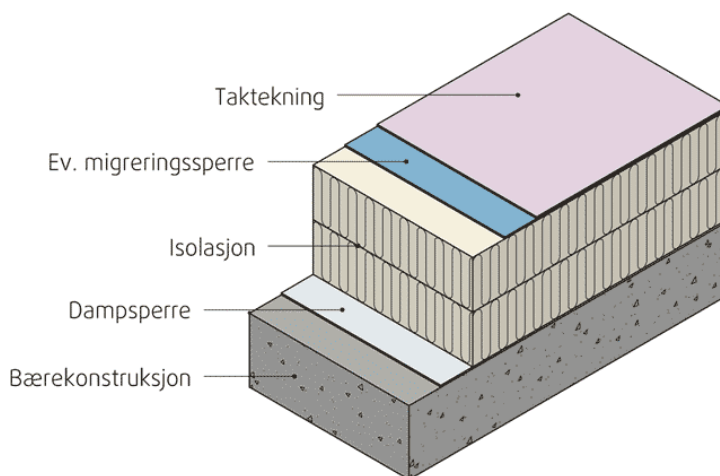
1 Innledning

1.1 Formål

Hovedformålet med denne prosjektrapporten har vært å gi anbefalinger om utførelse av robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørrking. Gjennom tre tidligere arbeider utført i FoU-programmet ”Klima 2000 – Klimatilpassning av bygningskonstruksjoner” [1], har vi sett at utilsiktet luftgjennomstrømning i kompakte tak kan bidra til økt uttørrking. På grunnlag av denne kunnskapen ønsket vi å vurdere hvordan dette selvuttørkingspotensialet kan utnyttes, samt gi anbefalinger om hvordan viktige detaljer bør utføres.

1.2 Tradisjonelle kompakte tak

Tradisjonelt bygges kompakte tak opp uten planlagt naturlig lufting og har derfor uttørrkingsevne. Se figur 1.2. 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 spesielt i de første årene med fare for innbygget fukt fra byggeperioden kan være lange perioder med uønskede fuktforhold i taket.



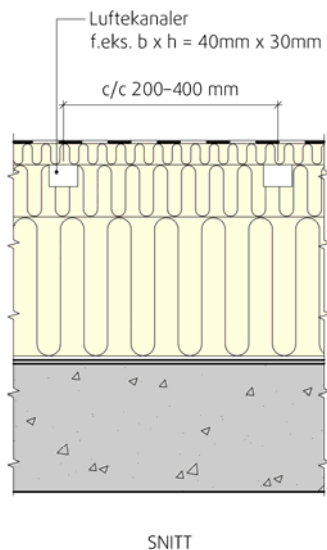
Figur 1.2
Tradisjonell oppbygning av rettvendt, kompakt tak uten lufting

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

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

1.3 Robuste, kompakte tak med økt evne til selvuttørking

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørking, se fig 1.3, innebærer en ny måte å bygge kompakte tak, med små luftekanaler i isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning for å få til en kontrollert luftgjennomstrømning gjennom isolasjonssjiktet som bidrar til å øke evnen til selvuttørking. Vi gjorde tidlig et valg om kanaldimensjon og senteravstand som vi ville benytte i beregningene (bla. basert på erfaringene i [10], kanaldimensjon $b \times h = 40 \times 30 \text{ mm}$ og $c/c = 300 \text{ mm}$, omtrent det samme som isolasjonstykkelsen.



Figur 1.3

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

Ved at luftekanaler og luftgjennomstrømning introduseres er det en rekke forhold som må vurderes, og som forsøkes besvart i denne rapporten:

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

Alle disse momentene må vurderes og avklares, samt at det må skisseres løsninger som er rimelig enkle å utføre på byggeplassen. I dette delprosjektet vil den teoretiske siden bli gjennomgått. Vi planlegger også å gjennomføre et pilotprosjekt der løsningene blir bygd inn i taket i henhold til anbefalingene i denne prosjektrapporten, og hvor taket blir fulgt opp i en periode etterpå med tanke på å vurdere om løsningene fungerer i praksis slik som forventet.

2 Bakgrunnsdokumentasjon

2.1 Generelt

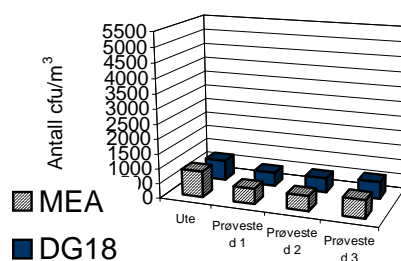
Denne prosjektrapporten er en videreføring av tre tidligere studier som SINTEF Byggforsk har utført i perioden 2002 til 2008. Rapportene fra disse tre studiene er kort oppsummert i det etterfølgende.

2.2 Fukt i kompakte tak. En feltundersøkelse i tre faser

Kompakte tak som er riktig utført, uten råtefarlige materialer mellom en korrekt dimensjonert og montert dampspærre og en godt utført vanntett takteking, har normalt vært betraktet som lite fuktømfintlige. Fukt i kompakte tak har kanskje derfor ikke vært viet tilstrekkelig oppmerksomhet. Feltundersøkelsen som er rapportert i [2] har tatt sikte på å kartlegge hvordan flate, kompakte tak oppfører seg over tid når det kommer fukt inn i konstruksjonen. All erfaring tilsier at kompakte tak er robuste takkonstruksjoner, når de er utført riktig. Det kan imidlertid i forbindelse med takarbeider i nedbørsrike perioder komme betydelige fuktmengder inn i kompakte tak. Fukt kan også senere komme inn i takkonstruksjonen, f.eks. som lekkasjer.

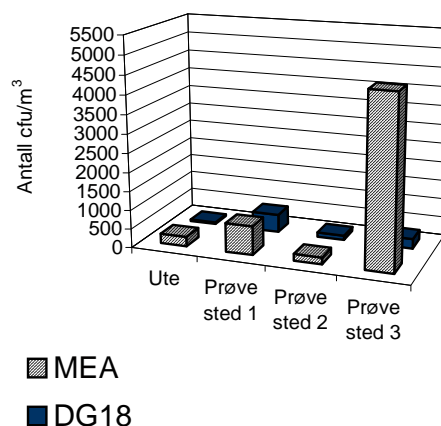
Store nedbørsmengder i Sør-Norge høsten 2000 aktualiserte temaet *innebygd fuktighet i kompakte tak*. Rapporten [2] presenterer resultatene fra fase 1, 2 og 3 av feltundersøkelsen *Fukt i kompakte tak*. Fase 1 omfattet studier av tolv kompakte takkonstruksjoner og fase 2 og 3 omfattet studier av ni av de samme takene. Omfanget av fukt i takene ble kartlagt og om det førte til problemer. Antallet tak som ble undersøkt var av økonomiske årsaker begrenset til tolv. Ti av tolv tak var valgt blant tak vi visste hadde hatt betydelige problemer med byggfukt under byggeperioden. To av takene hadde ikke hatt noen kjente fuktproblemer og skulle fungere som referansetak. Undersøkelsen sier noe om hvilke fuktproblemer som kan oppstå og hvor omfattende problemene kan bli.

Resultatene fra fase 1 viste at i åtte av ti tak ble det funnet fuktmengder større enn i referansetakene, og større enn hva som anses normalt. Det var rapportert om takdrypp i ett tilfelle, men i ytterligere to tak ble det observert så mye fukt at takdrypp kunne ha inntruffet. Begynnende korrosjon på festemidler ble observert på en festeskive montert på parapet (hvitrust). Fire av takene hadde fuktmengder i isolasjonen større enn 1 %-volum, og i ett tilfelle helt opp i ca. 18 %-volum. Det betyr en reduksjon av isolasjonsevnen fra 3 til 50 % disse stedene. Det ble ikke gjort funn av råtesopp. Ved mikroskopering ble det påvist vekst av muggsopp og/eller bakterier i sju tak, hvorav rikelig forekomst i to til tre av takene.



Figur 2.2 a

Oversiktsbilde samt grafisk framstilling av resultater fra luftprøve for tak 10 i fase 1 i undersøkelsen. Antall cfu/m³ er fordelt på prøvested og dyrkningsmedium (MEA og DG18). (Resultater fra Mycoteam)



Figur 2.2 b

Oversiktsbilde samt grafisk framstilling av resultater fra luftprøve for tak 11 i fase 1 i undersøkelsen. Antall cfu/m³ er fordelt på prøvested og dyrkningsmedium (MEA og DG 18). (Resultater fra Mycoteam)

Resultatene fra fase 2 viste at i fem av sju tak ble det funnet fuktmengder større enn i referansetakene og større enn hva som anses som normalt. Begynnende korrosjon ble observert på tre av tolv undersøkte festemidler (åtte tak). To av takene hadde fuktmengder større enn 1 %-volum og opp i ca. 13 %-volum. Ved mikroskopiering ble det påvist vekst av muggsopp, gjærsopp og/eller bakterier i alle ni takene hvorav rikelig vekst i to til tre av dem.

Resultatene fra fase 3 viste at i fire av sju tak ble det funnet fuktmengder større enn i referansetakene og større enn hva som anses som normalt. Begynnende korrosjon ble observert på to av åtte undersøkte festemidler fra sju tak tekket i år 2000. Ved mikroskopiering ble det påvist vekst av muggsopp, gjærsopp og/eller bakterier i seks av ni tak, hvorav sparsom vekst i fire tak og moderat vekst i to tak.

Det ble ikke påvist noen klar sammenheng mellom målt fuktighet og biologisk vekst, selv om to av takene viser både høy fukt og moderat til rik biologisk vekst. Dette kan ha sammenheng med varierende temperaturer og RF over året og næringsgrunnlaget for biologisk vekst. I kompakte tak (som er et "lukket system") uten fuktømfintlige materialer er det tenkelig at næringsgrunnlaget for biologisk vekst reduseres eller blir borte over tid.

Undersøkelsen viste at takene hadde god selvuttørkende evne og at andre uttørkingsmekanismer enn bare diffusjon bidro vesentlig. Sannsynligvis har luftstrømmer i eller gjennom taket bidratt i stor grad, både utilsiktede luftstrømmer og tilsiktede luftstrømmer f.eks. via lufttelyrer. Innebygd fukt vil også kunne tørke ut via parapeter. Inne på takflaten på større tak kan slik uttørking være vanskelig og fukt vil kunne bli værende i konstruksjonen over lengre tid. Undersøkelsen har vist at selv om til dels betydelige mengder fuktighet helt tydelig hadde kommet inn i takene i byggeperioden, og i tre - fire av takene vært der i opptil 7 år, så var det bare i to - tre av takene det hadde ført til eller kunne ha ført til mulige problemer, se mer om dette i[2].

2.3 Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak.

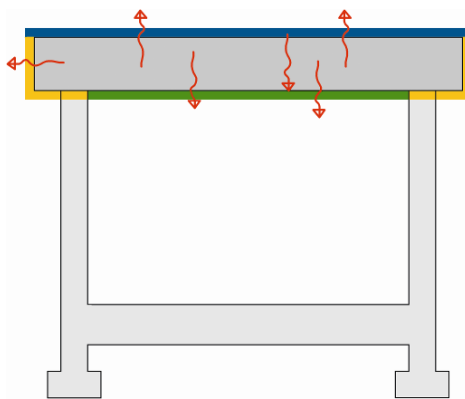
Prosjektrapporten ”Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak” [3] ble utført i FoU-programmet ”Klima 2000 – Klimatilpassning av bygningskonstruksjoner [1]. Hovedformålet med rapporten var å lage en samlet beskrivelse av alternative naturlige uttørkingsmekanismer for kompakte tak og gi en oversikt over hvor stor uttørkingsevne de ulike metodene kan gi. I rapporten er det gitt en systematisk oversikt over de fleste uttørkingsmekanismene som kan opptre, og det er forsøkt å kvantifisere hvilket uttørkingspotensial de ulike mekanismene har.

Uttørkingsmekanismer som diffusjon, luftgjennomstrømming, luftutveksling og drenering samt tilhørende drivkrefter er omtalt i egne kapitler. Kvantifiseringen 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 [2] er også lagt til grunn.

Selvuttørkingsevne ved diffusjon. Drivkraften for damptransport ved diffusjon er forskjeller mellom vanddampkonsentrasjon inne i taket og utenfor. Drivkraften kan også angis som forskjell i damptrykk. Vanddamp transporteres fra steder med høy dampkonsentrasjon til steder med lavere konsentrasjon. Vanddamptransporten er proporsjonal med konsentrasjonsgradienten og tverrsnittsarealet transporten går gjennom, og omvendt proporsjonal med materialenes samlede motstand mot å slippe gjennom vanddamp. Motstanden mot vanddampdiffusjon omtales vanligvis som vanddampmotstanden.

I rapporten er s_d -verdi (diffusjonsekvivalent luftlagtykkelse) benyttet som mål på vanddampmotstanden 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 vanddampdiffusjon som et 0,5 m tykt stillestående luftlag.

For materialer med en viss tykkelse brukes μ -verdien som mål på vanddampmotstand. μ -verdien (vanddampmotstandsfaktoren) er et relativt mål og angir et materiales vanddampmotstand i forhold til vanddampmotstanden til et stillestående luftlag med samme tykkelse, $s_d = \mu \cdot d$.



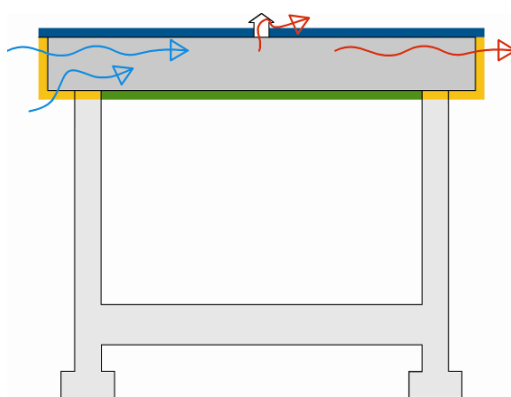
Figur 2.3 a
Fukttransport ut av taket ved diffusjon gjennom takteknig, dampsperre og takkantene

Mange takbelegg har så stor dampmotstand at uttørkingsevnen ved diffusjon fra taket og ut gjennom tekningen er minimal. De mest damptette er belegg av butyl. De har dampmotstand, angitt som s_d -verdi, opp til ca. 600 m. Asfalt 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.

Selvuttørkingsevne ved luftgjennomstrømning. Luftgjennomstrømning gjennom tak kan medføre både oppfukning og uttørring av takkonstruksjonen. For at luftgjennomstrømning skal gi uttørring 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 luftgjennomslippelighet, luftpermeabilitet, eller taket må ha kanaler i isolasjonssjiktet som luften kan strømme igjennom.

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 uttørring. Eventuelle kanaler i isolasjonen må legges langt ut mot kald side for å begrense varmetapet.



Figur 2.3 b
Fukttransport ut av taket ved luftgjennomstrømning, fra ute til ute

Uttørring ved luftutskifting og luftgjennomstrømning er undersøkt ved bruk av egenutviklede beregningsprogrammer og en del beregningsresultater er vist i form av diagrammer i vedlegg til rapporten. Ved beregningene er det regnet konservativt og det er ikke tatt hensyn til at taktekingen kan bli flere titals grader varmere enn utelufttemperaturen når sola skinner direkte på taket. Oppvarming av tak ved solstråling har imidlertid stor betydning for uttørringshastigheten, både når fukttransporten skjer ved diffusjon og når fukten transporteres med luftstrøm.

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

I rapporten er det forsøkt å gi en oversikt over de mange ulike formene for fukttransport man kan ha i kompakte tak, og uttørringsmekanismene er sortert etter type og drivkraft for fukttransporten. Der man har nødvendig grunnlag, er det angitt mulig uttørringskapasitet.

Det er gjort en del forenklinger og listet opp forutsetninger for å komme fram til disse verdiene som derfor er beheftet med betydelig usikkerhet. Oversikten er ment å gi en grovsortering av de ulike mekanismene når det gjelder mulig uttørringsevne. Tallene må bare betraktes som orienterende verdier. I tabell 2.3 er bare den delen av den samlede oversikten som omhandler selvuttørring ved diffusjon og ved luftgjennomstrømning gjennom taket fra utvendig til utvendig side medtatt.

Tabell 2.3

Selvuttørring i kompakte tak – en oversikt over mulige mekanismer, drivkrefter og betingelser med kommentarer og anslag over mulig uttørkingskapasitet, [3].

	Mekanisme	Drivkraft	Betingelser	Kommentarer	Mulig uttørkingsevne
1 Diffusjon	Diffusjon -vertikalt oppover	Damptrykkforskjell 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 uttørring enn lys tekning fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming. Den laveste verdien av oppgitt mulig uttørkingsevne gjelder for lyst takbelegg, mens den høyeste gjelder for mørkt takbelegg	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	Damptrykkforskjell mellom inne i taket og inneluft	Temperaturforskjell mellom ute og inne pga. soloppvarming. Dampspærre med en viss dampåpenhet.	Mørk taktekning gir større uttørring 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	Damptrykkforskjell mellom inne i taket og uteluft	Temperaturforskjell mellom inne i taket og ute. Dampåpne og luftede overflater ved takkant.	Mørk taktekning gir større uttørring enn lys tekning fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming Uttørringen 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
2 Gjennomstrømming, ute – ute	Luftgjennomstrømming - uteluft fra takkant til takkant	Vindtrykkforskjell mellom to takkanter	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt eller luftkanaler. Utettheter, luftespalter eller ventiler ved takkantene Tett dampspærre 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
	Luftgjennomstrømming - 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 dampspærre. 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

Noen symboler som er brukt i tabellen:

s_d mål for dampmotstand, ekvivalent luftlagstykkelse [m]

μ relativt mål for vanddampmotstand, Vanddampmotstands faktoren

Δv fukttilskudd, [g/m³]

2.4 Kompakte treak med innebygget fuktighet.

Rapporten ”Compact wood frame roofs with build-in-moisture” [4] presenterer måleresultater fra SINTEF Byggforsk sitt forsøkshus på Voll i Trondheim. Taket består av 8 kompakte takelementer – hvert med en bredde på 1,2 m og lengde 5 m. Forsøkene omfattet selvuttørring av fem kompakte takelement med fukt i.

Byggfukt i isolasjonslaget i kompakte uluftede tak vil generelt tørke ut meget sakte, sammenlignet med uttørkingshastigheten i et luftet tak. Det er imidlertid tidligere blitt observert at mange kompakte tak som er blitt fuktet opp, tørker raskere enn hva man teoretisk forventer.

Mye av dette tror man skyldes at det kan oppstå gjennomstrømning av uteluft gjennom takkonstruksjonen, og at denne kan virke uttørkende. I tillegg er det observert at det ofte er relativt lite muggvekst i kompakte tak – selv om takene har vært ganske kraftig oppfuktet i byggefasen. En teori er at siden temperaturen i kompakte takkonstruksjoner når opp i 50-60 °C, vil dette kunne drepe eventuell muggsopp.

I forbindelse med forsøkene på forsøkshuset på Voll ble fire av takelementene modifisert på undersiden av takutstikkene på en slik måte at uteluft til en viss grad kan passere gjennom elementet fra den ene langsiden av huset til den andre. To av takelementene ble i tillegg åpnet med små borehull i kantbjelke ved hvert takutstikk slik at uteluft i enda litt større grad kunne passere gjennom elementet fra den ene langsiden av huset til den andre. I tillegg ble takelementene tilført fukt for å simulere oppfukning i byggefasen. Fukten ble tilført med 4 l/m² takflate ved bruk av svetteslanger i to uker innledningsvis. Det var ikke noe fukttilskudd fra innsiden.

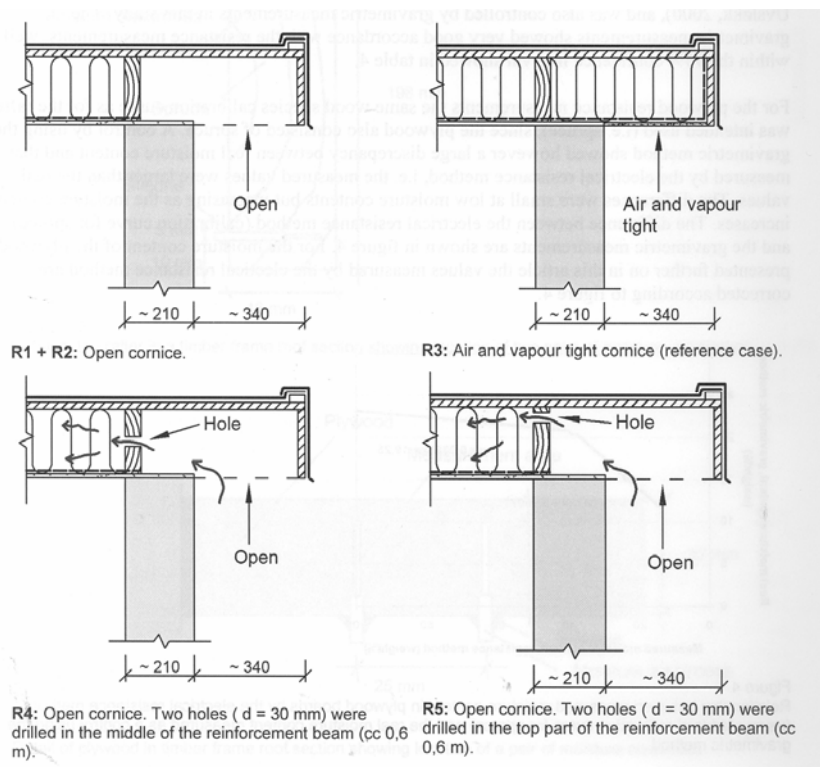


Figur 2.4 a

SINTEF Byggforsks forsøkshus på Voll i Trondheim. Taket består av 8 kompakte takelementer. Forsøket omfattet fem kompakte takelement, fire av dem modifisert på en slik måte at uteluft til en viss grad kunne passere gjennom elementet fra den ene langsiden av huset til den andre.

Temperatur og trefuktighet ble målt forskjellige steder i trekonstruksjonen, og derigjennom kunne man studere uttørkingseffekten av at uteluft ved vindpåkjenning strømmer gjennom isolasjonssjiktet fra raft til raft f.eks. via tillagete små lufteåpninger mot isolasjonssjiktet. Lufteåpningene ved raft (i form av hull) tilsvarer en kontinuerlig luftspalte på 1 mm. I tillegg ble utviklingen av muggvekst i taket fulgt opp gjennom måleperioden på to år.

Dette arbeidet er gjort innen prosjektet Klima 2000 og Climate Adapted Buildings, med støtte fra partnere og Forskningsrådet.



Figur 2.4 b

Figuren viser takutstikkene og kantbjelken mot vest på de fem takelementene på Voll. Element R3 er referanseelement med takutstikk i tilnærmet damp tett utførelse. Element R1 og R2 har dampåpen underside på takutstikket. Element R4 og R5 har dampåpen underside på takutstikk og i tillegg forborrede luftehull i kantbjelken.

Målingene viste god uttørking, og de viste klart høyere uttørking for de delene av takkonstruksjonen som hadde en viss grad av ventilasjon av uteluft gjennom tillagete små lufteåpninger ved raft og gjennom isolasjonssjiktet, enn der det ikke var lagt til rette for slik luftgjennomstrømning.

Forsøkene ble gjennomført på et relativt lite tak med en lengde på ca. 5 m, og det er sannsynlig at uttørkingseffekten vil være mindre på større tak på grunn av større motstand mot luftgjennomstrømning. Dette kan imidlertid tenkes å motvirkes ved å legge inn små kanaler i isolasjonssjiktet eller ventiler midt på taket.

Målingene viste også relativt lite muggvekst i taket – mindre enn forventet. En mulighet er at høye temperaturer i perioder med mye sol dreper eller bremser muggveksten.

3 Gjennomstrømning av uteluft og uttørkingspotensiale

3.1 Resulterende vindtrykkforskjell mellom innløp og utløp

I et flatt luftet tak er det den resulterende vindtrykkforskjellen mellom luftinntak og luftutløp som er drivkraften for luftgjennomstrømningen. Strømningsmotstanden i systemet består av singulærtap i innløp- og utløpsspalter samt friksjonstap i kanalene i isolasjonssjiktet, og øker med kvadratet av strømningshastigheten. Strømningshastigheten, og derigjennom både uttørkings- evnen og varmetapet, kan derved styres ved å velge tverrsnittsareal i luftekanalene samt motstanden i inn- og utløpsspalter. Vindtrykkforskjellen vil være bestemt av vindhastigheten og forskjellen i vindtrykkfaktor ved inn- og utløpsåpningene. Vindtrykkforskjellen mellom inn- og utløp beregnes etter uttrykket:

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

Δp = vindtrykkforskjell [Pa]

$\Delta c = c_{i0} - c_{le}$, forskjell mellom formfaktorene ved innløp og utløp (lo- og le-side)

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

ρ = luftens densitet [kg/m³]

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

Vindtrykkfaktorene, eller formfaktorer som de også benevnes, varierer mye med den geometriske utformingen av bygningen og taket inkludert plassering og orientering av åpningene. De varierer i tillegg mye med vindretningen, fra å være positive (sug) ved takkanten mot vinden til å være negative (trykk) ved de øvrige takkantene.

NS-EN 1991-1-4 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-4 Allmenne laster - vindlaster [12], angir i kapittel 7.2.2 vindtrykkfaktorer for beregning av vindlast på vertikale vegger og i kapittel 7.2.3 vindtrykkfaktorer for beregning av vindlast på flate tak. Vi har tatt utgangspunkt i informasjonen gitt i de to kapitlene for å vurdere plassering av lufteåpningene og hvilke vindtrykkfaktorer vi bør benytte.

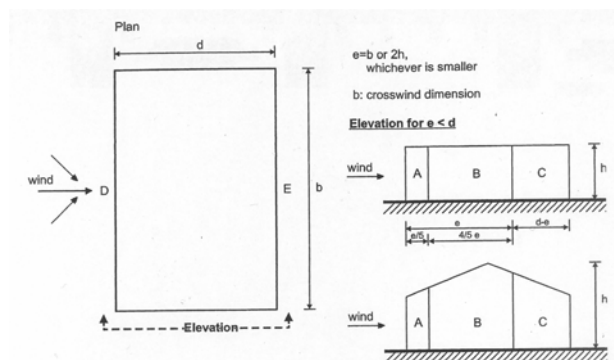


Table 7.1 — Recommended values of external pressure coefficients for vertical walls of rectangular plan buildings

Zone	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Fig 4.1 a

Formfaktorer for utvendige vegger. De mest aktuelle vindtrykkfaktorene er ringet inn, [12].

For luftenåpningen plassert på utvendig side av parapetene kan fig. 4.1 a som viser utdrag av vindlaststandardens kapittel 7.2.2 benyttes til å finne vindtrykkfaktorene. Vi har avmerket med ring rundt vindtrykkfaktorer for de mest aktuelle høyde-/dybdeforholdene på vanlige bygg. Når vinden blåser rett mot en langvegg, ser vi at forskjell mellom vindtrykkfaktorene ved innløp og utløp, $\Delta c = c_i - c_e$, er fra +1,0 til +1,3. Det vil også si at det er fare for oppbygging av et ekstra vindtrykk på undersiden av takbelegget i tillegg til suget på oversiden. Dette er uheldig da det gir fare for avblåsningsskader hvis ikke takbelegget festes for å motstå det ekstra vindtrykket. Å plassere luftespartene på parapetenes utside vil kreve ekstra tiltak for innfesting, og vi har i vår videre vurdering antatt at dette var uønsket og lite aktuelt.

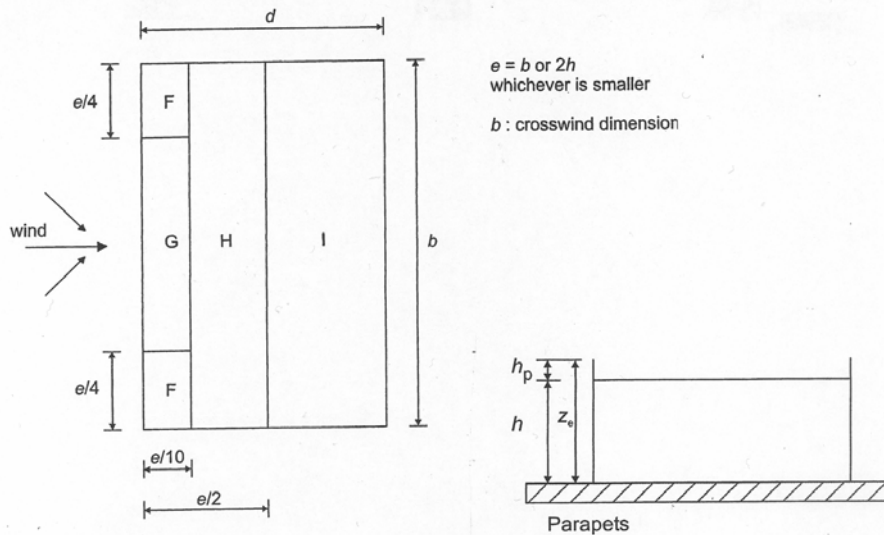


Table 7.2 — External pressure coefficients for flat roofs

Roof type	Zone								
	F		G		H		I		
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	
Sharp eaves	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
With Parapets	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
		$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2

Fig 4.1 b
Formfaktorer for flate tak med parapet. De mest aktuelle vindtrykkfaktorene er ringet inn, [12].

Ved luftenåpningen plassert på innvendig side av parapetene kan fig. 4.1 b som viser utdrag av vindlaststandardens kapittel 7.2.3 benyttes til å finne vindtrykkfaktorene. Vi har også her avmerket med ring rundt vindtrykkfaktorer for de mest aktuelle parapethøyder på bygg med høyde opp til 10 m. Parapethøyden vil i de fleste tilfeller bli 300 - 400 mm høy for å få til en god oppbrett på takbelegget og med en godt skjermet luftespalte. Når vinden blåser rett mot en langvegg og luftenåpningene er plassert på innvendig side av parapeten, blir forskjell mellom vindtrykkfaktorene ved innløp og utløp, $\Delta c = c_i - c_e$, = -0,7 til -1,1. Med luftespartene plassert på innvendig side av parapetene mot takflaten resulterer det i et sug på undersiden av takbelegget. Det er gunstig da det gir en ekstra sikkerhet mot avblåsningsskader på takbelegget.

I begge tilfeller har vi valgt å benytte c_{pe10} , c_{pe1} brukes helst ved beregning av innfestingsbehov og andre små elementer, og kunne kanskje være riktig å benytte ved beregning av luftgjennomstrømning i strengt atskilte kanaler. I dette tilfellet er det lange sammenhengende luftespalter og et innvendig sammenhengende kammer inne i parapeten som utjevner vindtrykkforskjeller langs parapeten, og vi har valgt å bruke c_{pe10} for beregning av vindtrykket.

Formfaktorene gitt i tabell 4.1 b (og 4.1 a) og det resulterende sug som driver luften gjennom kanalene (her på tvers av bygget) gjelder for vindretning vinkelrett på en av de to langsiden. Det resulterende suget som driver luften gjennom kanalene på tvers av bygget avtar mot 0 når vinden dreier og etter hvert står vinkelrett på kortsidene. Mellom disse vindretningene varierte vindtrykkfaktoren tilnærmet lineært med vindretningen, og med en middelværdi for alle vindretninger på ca. 0,5. Vindtrykkfaktorene ved parapet på et flatt tak vil være forskjellige fra vindtrykkfaktorene rundt kantene på et saltak. Vindtrykkfordelingene vil også være forskjellig rundt store, lave bygninger sammenlignet med fordelingen rundt en høy bygning med mindre grunnflate. Det er mulig å være ganske nøyaktig for et konkret bygg med kjent utforming, men for mer generelle beregninger som her har vi i beregningene valgt å bruke en forskjell på 0,5 mellom vindtrykkfaktorene ved inn- og utløp.

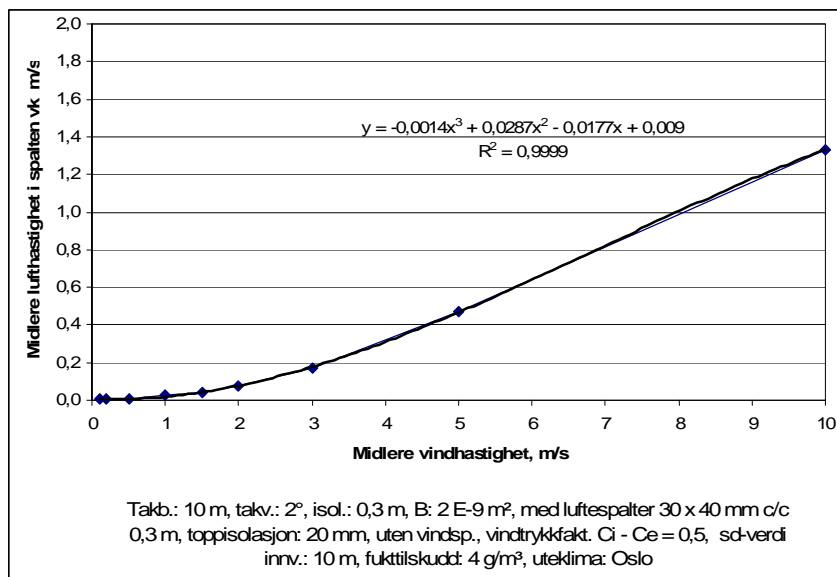
En resulterende vindtrykkforskjell på i størrelsesorden $\Delta p = -0,5 p_d$ er tilstrekkelig til å få utnyttet uttørkingspotensialet og ikke så stort at det gir anblåsning av isolasjonssjiktet og energitap i et problematisk omfang.

3.2 Sammenheng vindtrykk på stedet og luftgjennomstrømning i kanalene

Strømningsmotstanden i et tak med innlagte luftkanaler i isolasjonen vil være summen av friksjonsmotstanden ved strømmingen i kanalene og summen av singulærtap i innløp, utløp samt ved eventuelle retnings- og tverrsnittsendringer. Hvis vi forutsetter at luftkanalene på taket ikke har retnings- eller tverrsnittsendringer vil de singulære tapene være bestemt av størrelse og utforming av inn- og utløpsåpningene på parapeten samt inn- og utløpsåpningene til luftkanalene i isolasjonen på taket.

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 dermed hovedsakelig være bestemt av antall kanaler samt kanalenes tverrsnitt, og lengde.

Når drivtrykket er kjent, og friksjonstap og singulære tap er uttrykt i forhold til strømningshastigheten, kan sammenhengen mellom midlere vindhastighet og strømningshastigheten i luftkanalene beregnes og framstilles grafisk, se fig. 3.2.



Figur 3.2
Sammenheng mellom vindtrykk på stedet og luftgjennomstrømning i kanalene

I [11] er det gitt månedsmiddelverdier for vindtrykk for forskjellige målestasjoner i Norge. Noen verdier er hentet derfra og vist i tabell 3.2 a både som gjennomsnitt over året og som gjennomsnitt i fyringssesongen fra oktober til mars. Verdiene gitt for fyringssesongen er nok de mest interessante da det er i denne delen av året varmetapene er størst og også fordi gradienten for fukttransport fra innvendig til utvendig side av takkonstruksjonen er størst.

For sammenlikningens skyld er det i tabell 3.2 b vist en forenklet versjon av Beauforts skala.

Tabell 3.2 a
Middlere vindhastighet noen steder i Norge

Sted	Gjennomsnitt over året	Gjennomsnitt i fyringssesongen
Karasjøk	0,5 m/s	0,5 m/s
Tromsø	2,9 m/s	2,8 m/s
Trondheim	2,5 m/s	2,6 m/s
Røros	1,7 m/s	1,9 m/s
Kristiansund	5,1 m/s	4,9 m/s
Bergen	3,2 m/s	3,2 m/s
Lillehammer	1,6 m/s	1,7 m/s
Oslo	2,0 m/s	2,2 m/s
Kristiansand	3,9 m/s	4,0 m/s

Tabell 3.2 b
Forenklet versjon av Beauforts skala

Betegnelsen	Vindhastighet
Stille og flau vind	0 – 1,5 m/s
Svak vind	1,6 – 3,3 m/s
Bris	3 – 11 m/s
Kuling	11 – 21 m/s
Storm	21 – 32 m/s
Orkan	≥ 32 m/s

De fleste stedene i Norge har middelvind med styrke 1 - 4 m/s, og det gir strømningshastighet i luftkanalene i kompakte tak med økt selvuttørkingsevne i størrelsesorden 0,03 - 0,3 m/s.

3.3 Luftfuktighet og temperatur og evne til selvuttørrking

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 uttørrking, eller i verste fall oppfukning, og for hvor stor fukttransporten blir.

Dette kan illustreres med et eksempel. Uteluft med temperatur 0 °C vil kunne inneholde opp til ca. 5 g/m³ fukt. 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 utelufta 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 lufta ha økt til ca. 5 g/m³ når lufta strømmer ut av taket. Selv uten å øke lufttemperaturen vil altså luftstrømmen i dette tilfellet kunne transportere bort ca. 1 g/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. På dager med stor soloppvarming vil på denne måten uttørkingspotensialet øke betydelig.

3.4 Måling av luftåpenhet av filt til skjerming av innløpsspalter

For å hindre inndrev av nedbør som snø og regn, må luftespalteåpningene beskyttes. En sikker måte å gjøre dette på er å montere en filt over spalteåpningene som vist i figur 4.1 og 5.1. Filtarealet og luftgjennomgangstallet til filten har betydning for hvor mye luft som slipper inn i luftespaltene. Luftgjennomgangstallet er målt for to aktuelle filttyper ved SINTEF Byggforsk sitt laboratorium i Trondheim.

Målingene ble gjennomført med utstyr som brukes for tilsvarende målinger av vindsperrer og andre forholdsvis tette produkter. Luftstrømmen ble målt ved hjelp av rotameter og trykkforskjellen over prøven ble målt med et mikromanometer. Pga. av stor luftgjennomgang i forhold til rotameterets måleområde ble målingen gjort på et redusert måleareal på 50 mm x 100 mm og ved bare lave trykkforskjeller, fra 1 Pa til 10 Pa. Ettersom målt luftgjennomgang økte tilnærmet lineært med trykkforskjellen, som forventet for slike produkter, kan måleresultatene brukes også ved høyere trykkforskjeller. Luftgjennomgangstallet, (m³/m²hPa), som er gitt i tabell 3.4, er beregnet som målt luftstrøm gjennom prøven dividert på prøveareal og trykkforskjell.

Måleresultater og noen materialverdier for filtene er gitt i tabell 3.4.

Tabell 3.4. Eksempel på måledata fra aktuelle filttyper

Produkt	Materialtype	Flatevekt	Luftgjennomgangstall, m ³ /m ² hPa	Strekstyrke og forlengelse	
				Ferskt	Aldret
Filtex M10 Geotekstil	Polypropylen (70%) / polyetylen (30%)	100 g/m ²	103	390 N/50 mm / 32 %	190 N/50 mm / 8,5 %
Geopro fiberduk	Polyesterfilt	200 g/m ²	115	-	-

Begge de to produktene som (tilfeldig) var hentet inn eksempler av har luftgjennomgangstall litt over $100 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h Pa})$. Denne verdien er brukt i beregningene. Til orientering har de undersøkte filtene ca. 2000 ganger høyere luftgjennomgangstall enn SINTEF Byggforsks anbefalte øvre grense for ferdig monterte vindspærresjikt inklusive skjøter.

På den ene filten ble det gjort en vurdering av strekkstyrke og forlengelse før og etter 2 ukers sammensatt klimaaldring (UV og varme, vann, $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ og $+23 \text{ }^\circ\text{C}$) etterfulgt av 12 ukers varmealdring i $+70 \text{ }^\circ\text{C}$. Resultatene framgår av tabell 3.4. Både strekkstyrke og forlengelse viser tilfredsstillende verdier for ferskt materiale. Filten tåler imidlertid ikke aldringen så bra som ønskelig, og det skyldes at den fra produsent har tiltenkt bruksområde som geotekstil, og er derfor ikke stabilisert for UV- og varmealdring. For bruksområde i parapet bør filten være det.

3.5 Vurderinger av uttørkingspotensialet

På grunnlag av månedsmiddelverdier for Oslo vedrørende utetemperatur, relativ luftfuktighet (RF) og vindhastighet, samt valgt $\text{RF} = 90 \%$ 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 vanndamp pr. volum luft som strømmer gjennom taket, kg/m^3 . Dette er en teoretisk verdi beregnet som differansen mellom absolutt fuktinnhold i lufta ved utløp og absolutt fuktinnhold i lufta ved innløp før lufta strømmer inn i taket.

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.

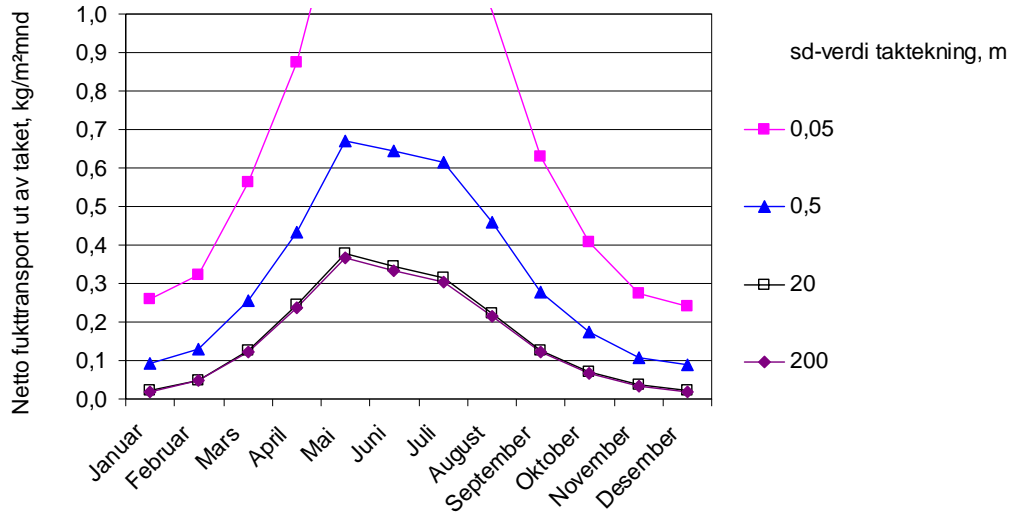
Figur 3.5 a viser beregnet fukttransport ut av taket ved luftstrømning fra ute til ute gjennom utfreste luftkanaler i isolasjon av mineralull, og med utetemperaturer fra Oslo. Det er i dette diagrammet ikke tatt hensyn til at det ved soloppvarming av takbelegget og taket er en enda større selvuttørking. De to nederste kurvene, som er nesten sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis PVC-folie og asfalt takbelegg

Figur 3.5 b viser beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år gitt samme fukttransport som i figur 3.5 a. Det er forutsatt at taket har et fuktinnhold på 5 liter pr. m^2 ved start. De to øverste kurvene, som er praktisk talt sammenfallende, gjelder for tak med tekning av henholdsvis asfalt takbelegg og PVC-folie.

I perioden 1994 til 1998 ble det gjennomført fukt- og temperaturmålinger 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. For nærmere beskrivelse av forsøkshuset og øvrige måleresultater, se [3].

Ved å ta hensyn til økt temperatur på taket på grunn av soloppvarmingen (taktemperaturen blir i perioder vesentlig høyere enn uteluftas temperatur) vil det gi et større uttørkingspotensiale enn vist i figur 3.5 a og b.

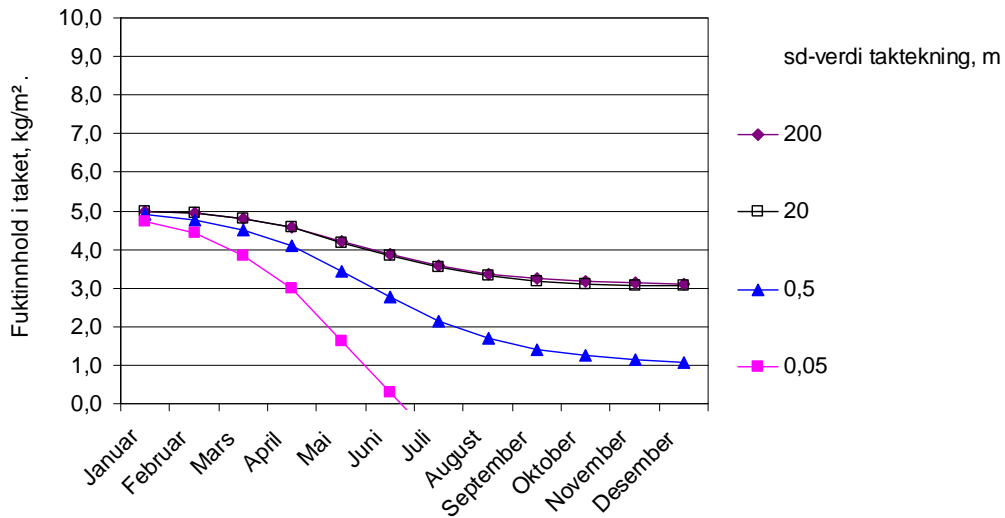
I fig. 3.5 b er det forutsatt at taket har et fuktinnhold på 5 liter pr. m² ved start. Det tilsvarer en nedbør på 5 liter pr. m² i den tiden isolasjonene er lagt ut og før taket er tett.



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 = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur 3.5 a

Beregnet fukttransport 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 fukttransport for 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 = 0,5, sd-verdi innv.: 10 m, fukttilskudd: 4 g/m³, uteklima: Oslo, utløp: 90 %RF

Figur 3.5 b

Beregnet utvikling av fuktinnholdet i et tak i løpet av et år. Samme fukttransport som i figur 3.5 a. 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.

3.6 Luftgjennomstrømning og energitap

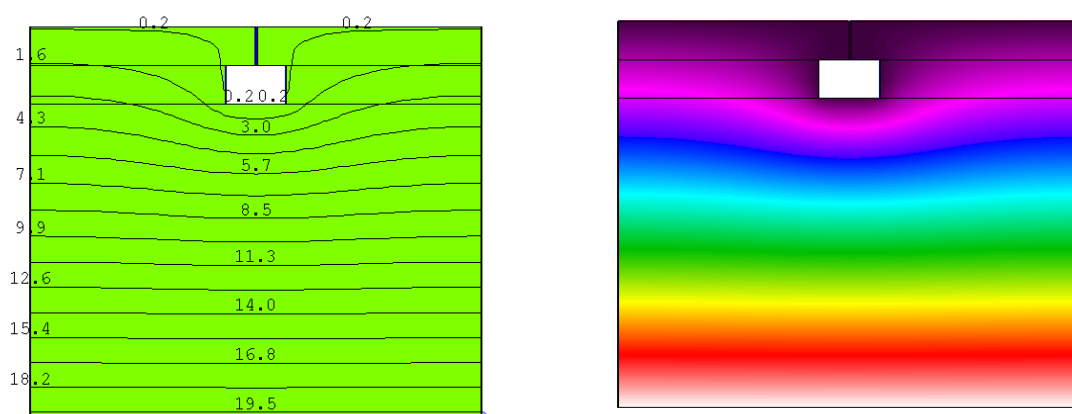
Luftgjennomstrømning i isolasjonssjiktet i kompakte tak medfører et ekstra varmetap ut gjennom taket. Dette ekstra varmetapet kan imidlertid holdes på et lavt og akseptabelt nivå ved riktig valg av materialer samt riktig dimensjonering og plassering av luftkanalene.

Luftgjennomstrømningen gjennom selve isolasjonsmaterialene vil normalt være svært begrenset fordi isolasjonen som vanligvis benyttes i kompakte tak har stor strømningsmotstand, dvs. lav luftpermeabilitet. Stor strømningsmotstand er en følge av at isolasjonen som brukes i kompakte tak må ha forholdsvis høy trykkfasthet og dermed høy densitet som igjen gir lav luftpermeabilitet sammenlignet med vanlig isolasjon. For å få nok luftgjennomstrømning for uttørring av kompakte tak må en derfor benytte isolasjon med strømningskanaler.

Varmetapet som luftgjennomstrømningen medfører, vil være bestemt av størrelsen på luftstrømmen og av hvor mye lufta er blitt oppvarmet når den strømmer ut av taket igjen. For å begrense mulig temperaturøkning må kanalene plasseres forholdsvis langt ut mot den kalde siden av isolasjonssjiktet. Se beregnet ekstra varmetap for noen alternative kanalplasseringer i figur 3.6 c.

Det er en øvre grense for hvor stort dette ekstra varmetap kan bli. Denne grensen kan en finne ved å beregne to alternative U-verdier for taket. En beregning for taket uten luftkanaler og en beregning hvor en setter temperaturen i kanalene lik utetemperatur. Forskjellen mellom disse to U-verdiene er absolutt øvre grense for varmetap som følge av luftgjennomstrømning i kanalene.

For et tak med 300 mm isolasjon med kanaler med bredde 40 mm, høyde 30 mm og toppisolering på 30 mm er absolutt øvre grense for varmetapsøkningen beregnet til 10 %. Det er da regnet med stillestående luft i kanalene med samme temperatur som utelufta, se fig. 3.6 a og b som viser grafisk framstilling av temperaturforløpet rundt luftkanalen.



a

b

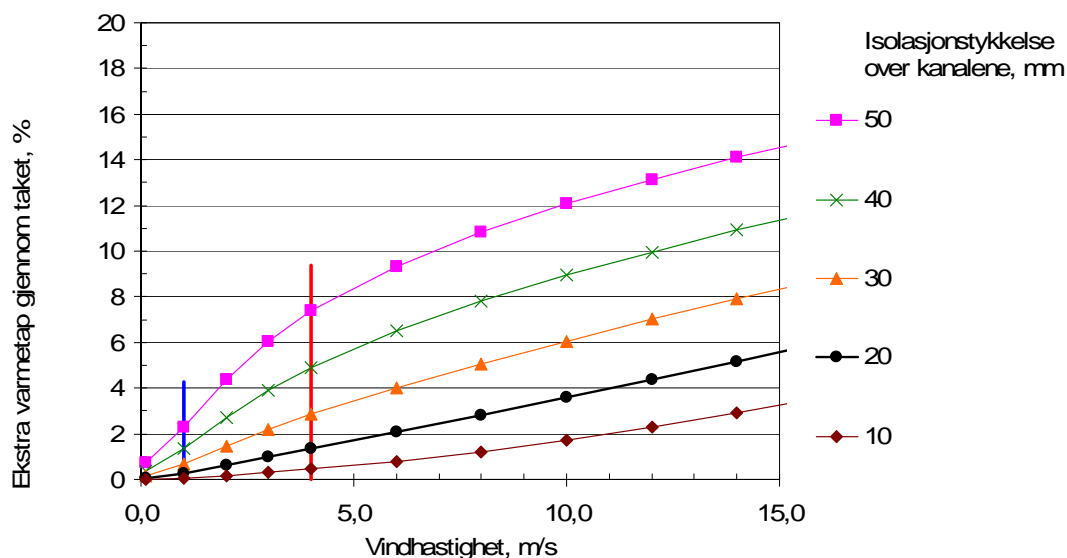
Figur 3.6 a og b

Beregnet temperaturfordeling i 300 mm takisolering med luftkanaler og temperatur ute er 0 °C og inne 20°C.

- Strekene er linjer hvor temperaturen er den samme, isotermer, og viser noe nedsatt temperatur nær kanalen. Tilfellet er et "worst case" hvor det er forutsatt utetemperatur, 0 °C, i kanalen. Innetemperaturen er + 20 °C. I praksis vil middeltemperaturen i kanalen være høyere. Kanalen har tverrsnitt 40 mm x 30 mm og c/c avstanden er 300 mm. Beregnet absolutt øvre grense for ekstra varmetap er i dette tilfellet ca. 10 % sammenlignet med et tak uten kanaler.
- Samme tilfellet som over, men i stedet for isotermer vises temperaturfordelingen her med farger.

I praksis vil varmetapsøkningen være langt lavere enn det framgår av figur 3.6 c. Det skyldes at temperaturen i kanalen vil være lik utetemperatur bare ved innløpet. Når lufta strømmer gjennom kanalene vil temperaturen stige til en temperatur som er bestemt av strømningskanalenes posisjon i isolasjonssjiktet. Grafene vist i fig. 3.6 c er beregnet for en utetemperatur på $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, noe som er en vanlig midlere utetemperatur i fyringssesongen.

De fleste steder i Norge er midlere vindhastighet mellom 1 og 4 m/s i fyringssesongen. I diagrammet i fig 3.6 c er dette området markert med en vertikal blå strek (1 m/s) og en vertikal rød strek (4 m/s). I følge diagrammet er beregnet ekstra varmetap gjennom taket som følge av luftkanalene mindre enn 3 % når isolasjonssjiktet over kanalene er 30 mm eller lavere og vindhastigheten er mindre enn 4 m/s. Med isolasjonssjikt over kanalene på 20 mm vil beregnet ekstra varmetap gjennom taket som følge av luftkanalene de fleste steder sannsynligvis være mindre enn 1 %.



Takbredde: 10 m, takv.: 2° , isol.: 0,3 m, med luftkanaler 30 x 40 mm c/c 0,3 m, toppisolasjon: variert, vindtrykkfakt.: $C_i - C_e = 0,5$, utetemperatur: $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figur 3.6 c

Beregnet ekstra varmetap på grunn av luftgjennomstrømning i kanaler i takisolasjonen avhengig av vindhastigheten. Det er vist verdier for noen alternative isolasjonstykkelser på oversiden av kanalene.

Figur 3.6 c og tabell 3.6 viser beregnet ekstra varmetap som følge av isolasjonsplatetykkelsen over luftkanalene og midlere vindhastighet i fyringssesongen. Fyringssesongen er den interessante delen av året ved beregning av det ekstra varmetapet, og det er i beregningene valgt $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ som typisk verdi for utetemperaturen i fyringssesongen.

Tabell 3.6

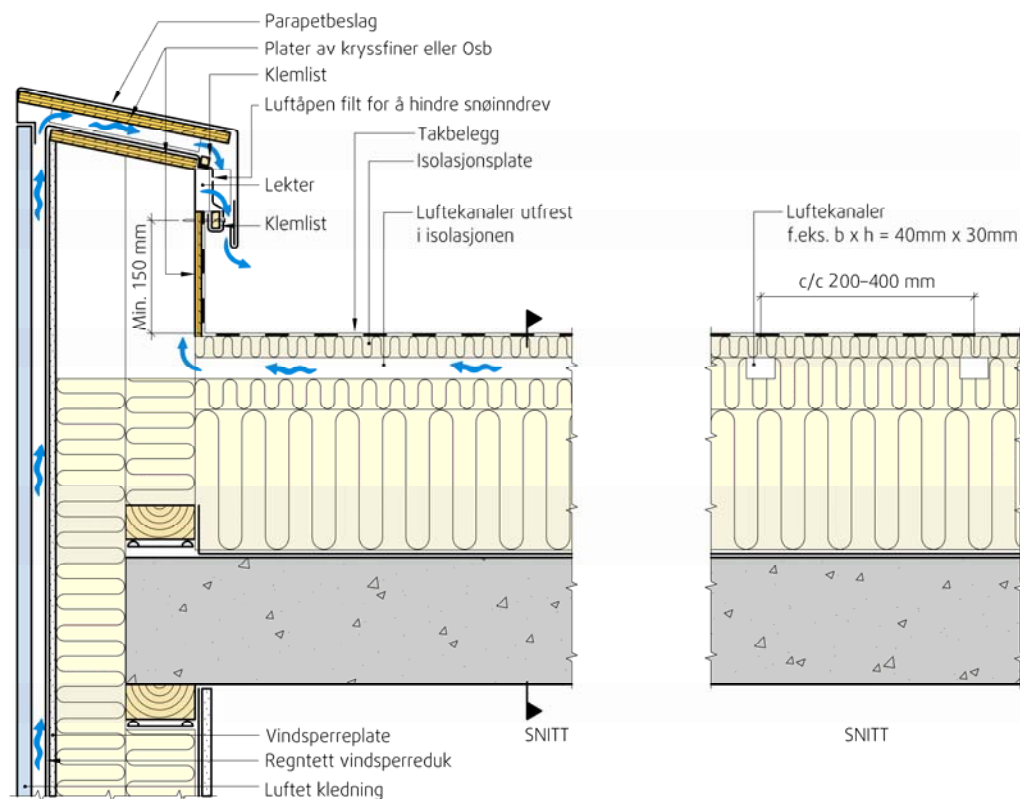
Beregnet ekstra varmetap som følge av isolasjonsplatetykkelsen over luftkanalene og midlere vindhastighet i fyringssesongen

Isolasjonsplatetykkelsen over luftkanalene	Midlere vindhastighet i fyringssesongen	Beregnet ekstra varmetap (beregnet for utetemperatur -4°C)
30 mm	4 m/s	$\leq 3\%$
30 mm	3 m/s	$\leq 2\%$
20 mm	4 m/s	$\leq 1,5\%$
20 mm	3 m/s	$\leq 1\%$
20 mm	2 m/s	$\leq 0,8\%$

4 Parapetutforming

Ved å lokalisere luftespaltene til parapetenes side mot takflaten kan en i prinsippet få effektiv luftgjennomstrømming i et system av kanaler i isolasjonen i taket og samtidig redusere faren for avblåsning av tekningen ettersom det vil bli et sug under tekningen.

Se skisse av en mulig parapetutforming i figur 4.1.



Figur 4.1

Mulig utforming av parapet med luftåpninger til luftkanalene i takisolasjonen. Luftåpningen på taksiden av parapeten, er dekket med en luftåpen filt og skjermet med beslag for å hindre regn- og snøinndrev. Luftespalten bak fasadekledningen er ført under parapetbeslaget til felles luftespalt mot takets innside

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

Selve åpningen i parapeten mot takflaten foreslås kledd med en filt for å hindre regn- og snøinndrev. I figuren er det vist eksempel på vertikal montering av filten, men den kan f.eks. også monteres skråstilt med helning utover. Filten monteres og klemmes mot parapetkonstruksjonen både over og under åpningen med klemlekt. Det finnes et stort utvalg av filter, mest aktuelt er nok en middels kraftig filt av polyester- eller polypropylen på ca. 100 – 150 g/m². Velg en filt som har dokumentert bestandighet for slik bruk, dvs. for utendørs temperaturer, fukt og for UV-stråling fra sollyset.

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

5 Luftgjennomstrømning og risiko for brannspredning

TEK07 sier i § 7-24 pkt. 1 og 2:

1. Byggverk skal bygges og utstyres slik at sannsynligheten for at brann skal oppstå reduseres til et akseptabelt nivå, og slik at faren for spredning av brann og røyk kan reduseres tilsvarende. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og nødvendige tid for rømning og redning.
2. Det skal velges materialer og overflater som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det legges vekt på tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon og giftige gasser.

Veiledningen til TEK07 sier i § 7-24 pkt om isolasjonsmaterialer bla. at:

- Isolasjon som ikke tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar] kan likevel benyttes såfremt bygningsdelen oppfyller den forutsatte branntekniske funksjon og isolasjonen anvendes slik at den ikke bidrar til brannspredning.
- Isolasjon som ikke tilfredsstiller A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar] kan benyttes på tak av klasse A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar], når isolasjonen bygges inn mellom ubrennbare materialer eller oppdeles i arealer på inntil 400 m².

Dette vil si at brennbar isolasjon som f.eks. EPS-isolasjon kan brukes i kompakte tak (med noen begrensninger) når isolasjonen enten er tildekket eller oppdelt med ubrennbare materialer, og når detaljer er utført på en måte som reduserer faren for spredning av brann og røyk på en akseptabel måte. Eksempler på løsninger og detaljer for vanlige kompakte tak er vist i [5], [6] og [9].

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring innebærer en ny måte å bygge kompakte tak, med små luftekanaler i isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning for å få til en kontrollert luftgjennomstrømning gjennom isolasjonssjiktet og økt evne til selvuttørring. Ved at luftekanaler og luftgjennomstrømning introduseres er det en reell mulighet for at oksygentilførselen er stor nok til at faren for spredning av brann og røyk for tak med brennbar isolasjon som EPS ikke er redusert til et akseptabelt nivå, og dermed at bygningsdelen ikke oppfyller den forutsatte branntekniske funksjon. Dette må vi ta spesielt hensyn til ved utforming av detaljer og løsninger for tak med luftekanaler i isolasjonssjiktet.

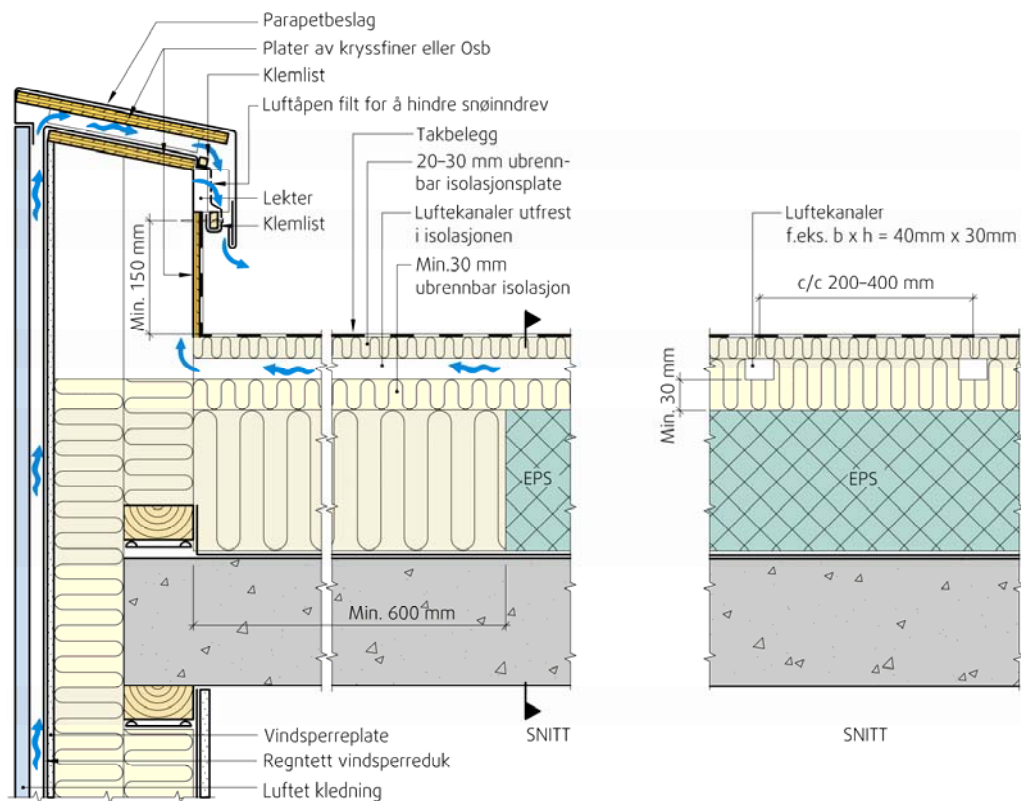
Man kan se for seg tre forskjellige måter å isolere taket på:

- kun bruk av ubrennbar isolasjon
- bruk av brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbar isolasjon
- bruk av brennbar isolasjon oppdelt i arealer på høyst 400 m²

Med ubrennbar isolasjon menes isolasjon som tilfredsstiller klasse A2-s1,d0

For tak isolert med *ubrennbar isolasjon i hele tykkelsen*, vil luftekanaler i isolasjonssjiktet ikke endre på forutsetningene om ikke å bidra til økt risiko for spredning avbrann og røyk, og utformingen blir som vist i fig. 4.1.

Tak med *brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbar isolasjon* vil kunne benyttes omtrent på samme måte som på tradisjonelle kompakte tak. Betingelsen er at retningslinjene for nødvendig tykkelse av tildekkingen (på begge sider), samt at krav om utskifting til ubrennbar isolasjon ved gjennomføringer, tilslutninger etc. følges på samme måte som for vanlige kompakte tak isolert med brennbar isolasjon og tildekket med ubrennbar isolasjon. Se [6]. Eneste forskjell er at det må benyttes ubrennbar isolasjon i en tykkelse på minimum 30 mm under luftekanalene samt i isolasjonen rundt og over luftekanalene. Se fig. 5.1 som viser oppbyggingen i prinsipp.



Figur 5.1

Mulig utforming av parapet og tak isolert med brennbar isolasjon tildekket av ubrennbar isolasjon. Luftekanalene i takisolasjonen må plasseres i den ubrennbare isolasjonen og ha en tykkelse på minimum 30 mm på undersidene av luftekanalene. Se anbefalinger om luftespaltenes areal og senteravstand i pkt. 6.2.

Tak isolert med *brennbar isolasjon oppdelt i delarealer på høyst 400 m²* og med luftekanaler i den brennbare isolasjonen frarådes.

Før løsningen med *brennbar isolasjon oppdelt i delarealer på høyst 400 m²* og med luftekanaler i brennbar isolasjon eventuelt kan benyttes i kompakte tak er det vår vurdering at det må utføres branntekniske forsøk og/eller analyser av konstruksjonens virkemåte under et brannforløp. Brannteknisk prøving og analyser har en kostnad som ligger utenfor rammene i dette delprosjektet og vil måtte gjøres som en eventuell videreføring.

6 Foreløpige anbefalinger

6.1 Bruksområde

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

I bygninger med lavere fukttilskudd enn 2 g/m^3 som f.eks. godt ventilerte kontorbygg, kan løsningen med kompakte tak med økt evne til selvuttørking med små luftekanaler i isolasjonssjiktet benyttes i kombinasjon med vanlig dampsperre med 200 mm løse omleggskjøter.

I bygninger med høyere fukttilskudd enn 2 g/m^3 frarådes løsningen benyttet med mindre det er lagt en dampsperre av god kvalitet og med sveisede skjøter samt med tette avslutninger mot parapet eller tilstøtende bygningsdeler.

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

6.2 Løsninger

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

6.2.1 Utførelse av Parapet

Konstruksjonens oppbygging, både tak og parapet, er vist i fig. 1.2.2, 4.1 og 5.1. Det er helt sikkert mulig å lage parapeten med litt annen detaljering enn vist i disse figurene, men parapetens hovedutforming anbefales benyttet omtrent som vist.

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

6.2.2 Selvuttørring v. energitap. Valg av luftekanalenes størrelse og senteravstand

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

SINTEF Byggforsks anbefaling er:

- Kanaldybde: 20 – 30 mm
- Kanalbredde: 30 – 50 mm
- Senteravstand: 200 – 400 mm
- Isolasjonsplate over luftekanalene: 20 – 30 mm

Med den geometri som er valgt i beregningseksempelene, dybde x bredde = 30 x 40 mm, og senteravstand 300 mm, er selvuttørringen ca. 50% av det man får i et luftet isolert skråtak (gitt dampåpent undertak med $s_d \leq 0,5\text{m}$), og beregnet varmetap vil være i størrelsesorden 1%.

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

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

6.2.3 Valg av isolasjonstype og brannmessige forhold

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring introduserer luftekanaler og luftgjennomstrømning i taket. Dermed kan oksygentilførselen bli så stor at risikoen for spredning av brann og røyk ikke er redusert til et akseptabelt nivå for tak med brennbar isolasjon som EPS. Dette må det tas spesielt hensyn til ved utforming av detaljer og løsninger. Se mer om dette i kap. 5 og i sammendraget.

6.2.4 Fall og avrenning

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

- fall på min. 1 : 40 på ferdig takflate. Nedbøyning på grunn av egenvekt og belastning på taket må ikke gi mindre fall enn de angitte verdiene,
- fall i renner og i kilrenner på min. 1 : 60,
- isfrie renner og sluk, for eksempel ved å lage lokale forsenkninger som gir større varmegjennomgang og snøsmelting,
- gjennomtenkt slukplassering og -antall. Sluk legges i lavpunktene, aldri ved søyler, bjelker eller lignende med mindre forspenning av elementer i takkonstruksjonen gir varig oppbøyning,
- nødoverløp,
- gjennomføringer plassert utenfor lavpunkter og kilerenner, helst i høybrekkene.

Eventuell oppbygging av fall ved hjelp av skråskårne isolasjonsplater bør gjøres før isolasjonsplatene med utfreste kanaler legges. Hvis fallet bygges opp på oversiden av platene med kanaler vil varmetapet på grunn av luftgjennomstrømning i kanalene øke. Det skyldes at lufta vil bli mer oppvarmet når kanalene ligger lenger nede i en varmere del av isolasjonen. Se pkt. 3.5. For øvrig anbefales det at isolasjonen legges ut med forskjøvne skjøter slik at varmetapet reduseres så mye som mulig.

Fall og slukplassering kan utformes på flere måter, se fig. 6.2 og [6]. Når fallet er bygd opp med skråkårne isolasjonsplater plassert under isolasjonsplatene med luftkanalene, kan fallet enten bygges opp som tosidig fall mot renne eller som firesidig fall mot sluk. Hvis det er valgt en løsning med falloppbygging på taket med tosidig fall mot nedsenket renne, anbefales det å velge retning for rennen(e) som sammenfaller med luftkanalenes retning slik at luftkanalene blir gjennomløpende.

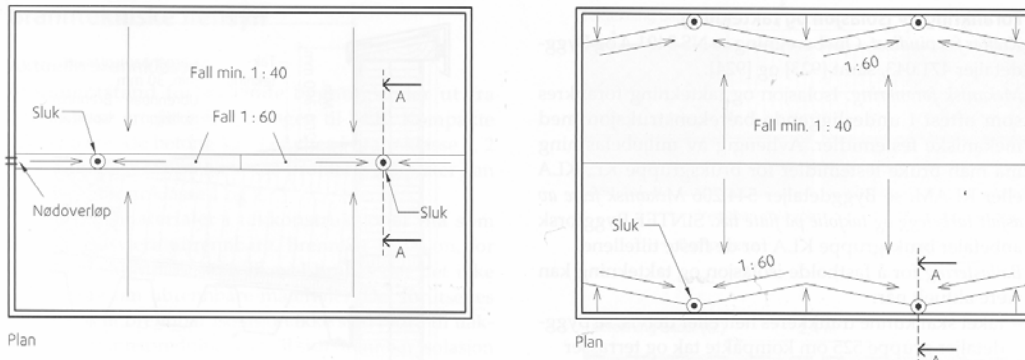


Fig. 6.2

Fall mot nedsenket renne inne på taket eller f.eks. mot sluk plassert nær parapeten ved langsiden.

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

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

7 Oppsummering

Generelt om uttørkingmuligheter for kompakte tak

Kompakte tak blir normalt bygget med tilnærmet luft- og damptette 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 bygge taket slik at en får en viss luftgjennomstrømning gjennom taket, kan også kompakte tak gis ytterligere uttørkingsevne.

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. Vi har forsøkt å tallfeste mulig uttørkingsevne for et robust kompakt tak med økt evne til selvuttørking med små kanaler for luftgjennomstrømning i isolasjonssjiktet. 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.

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

Gjennomstrømning av uteluft i kanaler i isolasjonen kan gi størst uttørking

Isolasjon som brukes i kompakte tak har lav luftgjennomslippelighet, 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.

Strømningsmotstanden i et tak med innlagte luftkanaler i isolasjonen vil være summen av friksjonsmotstanden ved strømmingen i kanalene og summen av singulærtap i innløp, utløp samt ved ev. retnings- og tverrsnittsendringer. Når drivtrykket er kjent, og friksjonstap og singulære tap er uttrykt i forhold til strømningshastigheten, kan sammenhengen mellom midlere vindhastighet og strømningshastigheten i luftkanalene beregnes og framstilles grafisk, se fig. 3.2.

På grunnlag av månedsmiddelverdier for Oslo vedrørende utetemperatur, relativ luftfuktighet (RF) og vindhastighet, samt valgt RF = 90 % i lufta når den strømmer ut av taket, har vi beregnet hvor mye fukt lufta 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. Se fig. 3.5 a.

I bygninger med lavere fukttilskudd enn 2 g/m³ som f.eks. godt ventilerte forretningsbygg og kontorbygg, kan løsningen med kompakte tak med økt evne til selvuttørking med små luftkanaler i isolasjonssjiktet benyttes i kombinasjon med vanlig dampsperre lagt med 200 mm løse omleggskjøter.

I bygninger med høyere fukttilskudd enn 2 g/m³ frarådes løsningen benyttet med mindre det er lagt en dampsperre av god kvalitet og med sveisede kjøter samt med tette avslutninger mot parapet eller tilstøtende bygningsdeler.

Luftgjennomstrømning i kanaler i isolasjonen og omfang av energitap

Luftgjennomstrømning i isolasjonssjiktet i kompakte tak medfører et ekstra varmetap ut gjennom taket. Dette ekstra varmetapet kan imidlertid holdes på et lavt og akseptabelt nivå ved riktig valg av materialer samt riktig dimensjonering og plassering av luftekanalene.

Varmetapet som luftgjennomstrømningen medfører vil være bestemt av størrelsen på luftstrømmen og av hvor mye lufta er blitt oppvarmet når den strømmer ut av taket igjen. For å begrense mulig temperaturøkning må kanalene plasseres forholdsvis langt ut mot den kalde siden av isolasjonssjiktet.

De fleste steder i Norge er gjennomsnittlig vindhastighet mellom 1 og 4 m/s i fyringssesongen. I følge diagrammet i fig 3.5 c er beregnet ekstra varmetap gjennom taket som følge av luftekanalene mindre enn 3 % når isolasjonssjiktet over kanalene er 30 mm eller lavere og vindhastigheten er 4 m/s eller lavere. Med isolasjonssjikt over kanalene på 20 mm vil beregnet ekstra varmetap gjennom taket som følge av luftekanalene de fleste steder sannsynligvis være mindre enn 1 %.

Risiko for brannspredning

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring innebærer en ny måte å bygge kompakte tak, med små luftekanaler i isolasjonssjiktet for å få økt evne til selvuttørring ved kontrollert luftgjennomstrømning gjennom isolasjonssjiktet. Ved at luftekanaler og luftgjennomstrømning introduseres kan oksygentilførselen bli så stor at risikoen for spredning av brann og røyk ikke er redusert til et akseptabelt nivå for tak med brennbar isolasjon som EPS. Dette må det tas spesielt hensyn til ved utforming av detaljer og løsninger for tak med luftekanaler i isolasjonssjiktet:

- For tak isolert med *ubrennbar isolasjon i hele tykkelsen*, vil luftekanaler i isolasjonssjiktet ikke endre på forutsetningene om ikke å bidra til økt risiko for spredning avbrann og røyk, og utformingen blir som vist i fig. 4.1.
- Tak med *brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbar isolasjon* vil kunne benyttes omtrent på samme måte som på tradisjonelle kompakte tak. Betingelsen er at retningslinjene for nødvendig tykkelse av tildekkingen, samt at krav om utskifting til ubrennbar isolasjon ved gjennomføringer, tilslutninger etc. følges. Forskjellen er at det må benyttes ubrennbar isolasjon i en tykkelse på minimum 30 mm under luftekanalene samt i isolasjonen rundt og over luftekanalene. Se fig. 5.1 som viser oppbyggingen i prinsipp.
- Tak isolert med *brennbar isolasjon oppdelt i delarealer på høyst 400 m²* og med luftekanaler i den brennbare isolasjonen frarådes (med mindre det først er utført branntekniske forsøk som bekrefter at løsningen kan brukes).

Videre arbeid

Robuste kompakte tak med økt evne til selvuttørring innebærer en ny måte å bygge kompakte tak med små luftekanaler i isolasjonssjiktet og en ny parapetløsning. For at løsningen skal kunne anbefales er det nødvendig å gjennomføre et pilotprosjekt der følgende deloppgaver er viktig:

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

Ytterligere nøyaktighet i anbefalingene kan oppnås ved flere beregninger:

- Beregne uttørkingspotensialet og ekstra energitap for sett av klimadata for andre steder enn Oslo
- Beregne for andre kombinasjoner av luftekanalenes høyde og bredde og senteravstand
- Utføre 2-dimensjonale beregninger med regneprogrammet WUFI for også å få med virkning av forskjellig diffusjonsmotstand i steinull og EPS.

Referanser

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

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

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

