

Sluttseminar for  
Strategisk instituttprogram

# Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner

Jan Vincent Thue, Sivert Uvsløkk m.fl.

Trondheim: 17. og 18. februar 1998

Oslo: 11. mars 1998

BYGGFORSK  
Norges byggforsk-  
ningsinstitutt



NORGES TEKNISK-  
NATURVITENSKAPELIGE  
UNIVERSITET  
Institutt for bygg- og anleggsteknikk

Sluttseminar for  
Strategisk instituttprogram

# **Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner**

Jan Vincent Thue, Sivert Uvsløkk m.fl.

Trondheim: 17. og 18. februar 1998

Oslo: 11. mars 1998

Prosjektrapport 231 – 1998

Prosjektrapport 231

Strategisk instituttprogram

## **Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner**

Jan Vincent Thue, Sivert Uvsløkk m.fl.

Sluttseminar

Trondheim: 17. og 18. februar 1998

Oslo: 11. mars 1998

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0606-0

500 eks. trykt av

S. E. Thoresen as

Resirkulert papir:

omslag Cyclus 200 g

innmat Fortuna 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1998

Adr.: Forskningsveien 3B

Postboks 123 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Faks: 22 69 94 38/salg: 22 96 55 08

Trondheimsavdelingen

adr.: Høgskoleringen 7

7034 TRONDHEIM

Tlf.: 73 59 33 90

Faks: 22 59 33 80

### **Emneord:**

Strategisk instituttprogram SIP

Fuktskader

Fuktdimensjonering

Fuktmåling

Yttervegg – fukt– oppbygging

Tak – fukt– oppbygging

Golv på grunnen – fukt– oppbygging

Vegger mot terreng – fukt– oppbygging

Fuktnivå i betonggolv

Fuktnivå i betongdekker

Våtrom – oppbygging

Fuktforhold – ombygging

Fuktforhold – etterisolering

Moisture transfer

Hygroscopic moisture transport – wood

Convection in insulated building structures

# INNHOOLD

*Adm. dir. Åge Hallquist*

**Forord 5**

*Professor Jan Vincent Thue*

**Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner – et strategisk instituttprogram i samarbeid mellom Norges byggforskningsinstitutt og Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU 6**

*Adm. dir. Åge Hallquist*

**Kunnskapsoppbygging gjennom strategiske instituttprogram 13**

*Dr.ing. Stig Geving*

**Om fuktskader, fuktdimensjonering og fuktbergningsprogrammer 20**

*Siv.ing. Sivert Uvsløkk*

**Måling av fuktforhold i vegger og tak – fullskalaforsøk med tak- og veggelementer i forsøkshus på Voll i Trondheim 34**

*Siv.ing. Marit Støre*

**«Moisture transfer in porous building materials and organic coatings. The effect of varying environmental conditions» – sammendrag av doktorarbeid 48**

*Siv.ing. Øyvind Økland*

**«Convection in highly insulated building structures» – sammendrag av doktorarbeid 52**

*Siv.ing. Berit Time*

**«Hygroscopic moisture transport in wood» – sammendrag av doktoravhandling 54**

*Dr.ing. Stig Geving*

**«Moisture design of building constructions. Hygrothermal analysis using simulation models» – sammendrag av doktoravhandling 56**

*Siv.ing. Svein Erik Torgersen*

**Golv på grunnen 59**

*Siv.ing. Svein Erik Torgersen*

**Vegger mot terreng 67**

*Dr.ing. Peter Blom*

**Anbefalt fuktnivå i betonggolv og -dekker 77**

*Ing. Bjørn Bakken*

**Fuktmålinger i praksis – Erfaringer 85**



*Siv.ing. Sivert Uvsløkk*

**Yttervegger og luftede, kalde tak -103**

*Siv.ing. Alf Waldum*

**Murte og pussede fasader 118**

*Siv.ing. Knut Noreng*

**Kompakte, varme tak 126**

*Siv.ing. Trond Bøhlerengen*

**Bygninger og rom med spesiell fuktbelastning 143**

*Ing. Bjørn Bakken*

**Oppbygging av våtrom – Tekniske løsninger 155**

*Siv.ing. Trond Bøhlerengen*

**Ombygging og etterisolering 170**

**Rapporter og artikler fra Fuktprogrammet 195**

## FORORD

Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner (Fuktprogrammet) er et stort strategisk instituttprogram som er gjennomført i perioden 1993 til 1997. Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og Institutt for bygg- og anleggsteknikk (IBA) ved NTNU, har samarbeidet om programmet. Programmet er finansiert av Norges forskningsråd, med tillegg av egeninnsats og investeringsmidler fra utførende institusjoner.

Forskningsrådets mål med strategiske program er å utvikle fremtidsrettet kunnskap som er viktig for næringslivet, forvaltningen og samfunnet. Programmene skal også bidra til å knytte sammen forskningsgrupper ved universitetene og forskningsinstituttene.

I tillegg til ansatte ved NBI og IBA har fire dr. studenter vært knyttet til Fuktprogrammet. Programmet har vært ledet av sivilingeniør Sivert Uvsløkk, NBI, og faglig ansvarlig har vært professor Jan Vincent Thue, IBA. En ekstern referansegruppe bestående av åtte personer er blitt brukt som rådgivere underveis i arbeidet.

For å informere om resultatene fra programmet holder NBI og IBA to seminarer vinteren 1998, henholdsvis i Trondheim og Oslo. Målet med disse seminarene er blant annet å nå institusjoner, foretak og bedrifter som ønsker å dra nytte av vår nye kompetanse på egne arbeidsfelt. NBI mener at Fuktprogrammet har vært meget vellykket, og vi gleder oss til å anvende ny kunnskap og verktøy i oppdrag.

NBI vil takke programledelsen, medarbeiderne og dr. studenter for stor innsats og gode resultater i programmet. Referansegruppen takkes for engasjement og nyttige råd. En spesiell takk til Norges forskningsråd som muliggjorde Fuktprogrammet.

Åge Hallquist  
Adm. direktør, NBI

---

### **Styringsgruppe:**

Professor Per Jostein Hovde, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU  
Forskningsjef Terje Jacobsen, Norges byggforskningsinstitutt  
Sivilingeniør Svein Erik Torgersen, Norges byggforskningsinstitutt  
Professor Jan Vincent Thue, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU  
Sivilingeniør Sivert Uvsløkk, Norges byggforskningsinstitutt

### **Referansegruppe:**

Sivilingeniør Erik Algaard, Multiconsult AS  
Overingeniør Johan Borud, Statsbygg  
Professor Sten Olaf Hansen, Institutt for klima og kuldeteknikk, NTNU  
Professor Tore Haavaldsen, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU  
Utviklingsjef Stein Johannesen, Norske Skog AS  
Professor Anker Nilsen, Integreert bygningsteknologi, Sivilingeniørutdanningen i Narvik  
Avdelingsingeniør Jørgen Young, Isola AS

# FUKT I BYGNINGSMATERIALER OG KONSTRUKSJONER

## – et strategisk instituttprogram i samarbeid mellom Norges byggforskningsinstitutt og Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU

Professor Jan Vincent Thue

### 1 BAKGRUNN FOR FORSKNINGSPROGRAMMET

#### **Fukt er årsak til byggskader og inneklimaproblemer**

Fukt er som kjent en avgjørende faktor i forbindelse med de fleste nedbrytningsprosesser i bygningssammenheng, som mugg, råte, korrosjon, frost- og saltsprenging osv. Fukt reduserer dermed levetiden til materialer og konstruksjoner. Vi får stadig bekreftet at fuktteknisk dårlige løsninger er en dominerende årsak til byggskader. Konsekvensene av fuktskader kan variere. I verste fall kan bærende konstruksjoner bryte sammen. Mer vanlig er imidlertid reduserte ytelsesegenskaper, utseendemessige ulemper eller inneklima- og helseproblemer.

Omfanget av fuktskader går klart fram av NBIs skadearkiv, hvor det årlig registreres mellom 240 og 300 skadesaker. I over 3/4 av tilfellene er fukt hovedårsak til skadene. Anslagsvis 1/3 av fuktskadene skyldes for dårlig prosjektering og omtrent 1/3 skyldes mangelfull arbeidsutførelse. Selv om NBIs skadesaker bare utgjør en brøkdel av de totale byggskadene, er dette bildet trolig representativt for landet som helhet. Med utgangspunkt i vurderinger av det totale omfanget av byggskader, kan vi trygt fastslå at fuktskadene på bygninger i Norge utgjør milliardbeløp hvert år.

På den annen side ser vi mange eksempler på at usikkerhet og frykt for fuktproblemer også kan føre til unødige kostbare og kompliserte konstruksjonsløsninger.

I de senere år er fuktige materialers negative innvirkning på inneluftkvaliteten kommet mer i fokus. Både emisjon av mange uønskede gasser og forekomst av mugg og husstøvmidd øker med økende fuktinnhold. Dette kan skape betydelige problemer for et stadig økende antall allergikere. Kontroll med konstruksjonenes fuktinnhold, i form av byggfukt eller fukt som følge av lekkasjer eller fuktskader, bør tas vesentlig mer på alvor enn tidligere.

#### **Behov for oppgradering av forskning og kompetanse**

I 1950- og 60-årene var det i bygningsfysikkmiljøet ved NBI og NTH i Trondheim internasjonal spisskompetanse på feltet fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner. Miljøet ga viktige bidrag til utvikling av kunnskapsgrunnlag og byggemetoder. Forskere som Ananias Tveit, Hans Granum, Trygve Isaksen, Robert Wigen og Sven D. Svendsen gjennomførte arbeider som ga gjenklang også internasjonalt. Blant resultatene kan nevnes formuleringen av prinsippene for to-trinns tetting, utvikling av konstruksjonsprinsipper for slagregntette vinduer og dører, ytelsesrelaterte krav til sperresjikt i bindingsverkskonstruksjoner og utvikling av prøvingsmetoder for materialers fukttegenskaper. Kunnskapsgrunnlaget i denne perioden var i høy grad basert på empiriske/kvalitative metoder og stasjonære betraktninger for enkeltprosesser.

På grunn av det generasjonsskiftet som skjedde, sammen med mangel på fuktforskningsprosjekter med kompetanseoppbyggende karakter utover i 70- og 80-årene, maktet vi ikke å vedlikeholde og oppdatere den nasjonale kompetansen på dette feltet.

I de siste 10 – 15 årene er det internasjonalt skjedd en betydelig utvikling på fuktfeltet, både når det gjelder metodegrunnlag og regnetekniske hjelpemidler. Omfattende, grunnforskningspreget virksomhet har pågått i flere land. Etter hvert har en fått etablert grunnlaget for kvantitativ analyse av sammensatte og dynamiske fuktprosesser.

På bakgrunn av omfanget av byggskader og innemiljøproblemer innså NTNF/Norges forskningsråd behovet for å oppgradere forskning og kompetanse vedrørende fuktproblemer i bygningssammenheng.

Med Forskningsrådets satsing på det strategiske forskningsprogrammet «Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner» (Fuktprogrammet) fikk vi mulighet til å ta igjen noe av det forsømte på dette feltet.

## **2 PROGRAMMETS MÅL OG ORGANISERING**

### **Mål og nytteverdi**

Det primære målet for Fuktprogrammet har vært å styrke og utvikle vår nasjonale kompetanse innenfor feltet fuktprosesser i bygningsmaterialer og konstruksjoner, slik at vi blir bedre i stand til å løse aktuelle oppgaver for norsk bygge- og anleggsnæring.

Hensikten har vært å oppgradere og utvikle den fukttekniske ekspertise i spisskompetansemiljøene, forbedre og bygge ut utstyrsressursene for laboratorie- og feltprøving av materialer og konstruksjoner, og å implementere moderne metoder og hjelpemidler for analyse, vurdering og dokumentasjon av fuktteknisk ytelse av materialer og konstruksjoner. Derved vil vi bli bedre i stand til å løse oppgaver innen rådgivning, utdanning, kurs- og oppdragsvirksomhet for bygg- og anleggsbransjen.

Gjennom denne satsingen ønsker en å bidra til at alle involverte parter og bedrifter i byggesaker får bedre tilgang på kunnskap og hjelpemidler, og mulighet til å øke egen kompetanse på fuktfeltet.

Eksempelvis vil de ca. 15 000 abonnentene på NBIs Byggforskserie få nytte av forskningsprogrammet gjennom reviderte og nye blad med fuktteknisk oppdaterte anvisninger. For svært mange av byggdetaljbladene må det tas nøye hensyn til fuktforhold ved utarbeiding av de forskjellige praktiske løsningsalternativene.

Bedre beregningsprogrammer vil muliggjøre mer nyanserte og billigere løsninger, samtidig som man kan analysere sikkerheten mot skader. Fuktanalyser er spesielt aktuelt i forbindelse med rehabilitering og ombygging av eldre konstruksjoner, hvor det kan være vanskelig og dyrt å tilfredsstille dagens fukttekniske prinsipper fullt ut. Beregningsverktøy vil også ha stor nytte i forbindelse med byggskader, hvor det ofte må tas raske valg mellom løsninger som kan variere mye i pris og sikkerhetsnivå.

Bedre metoder for risikoanalyse og vurdering av påkjenning/konsekvens kan også bidra til mer optimale valg ved nybygging.



Det kommer stadig nye materialer, materialkombinasjoner og komponenter på markedet, noe norsk og noe importert. I forbindelse med godkjenning og sertifisering av byggprodukter er det helt avgjørende at Norge har tilstrekkelig kompetanse til å kunne bedømme, veilede og til slutt avgjøre om de fukttekniske egenskapene er tilfredsstillende. Denne kompetansen er viktig også i eksportsammenheng, hvor dokumentasjon av kvalitet og bestandighet står sentralt.

På noe lengre sikt er håpet selvsagt at programmet skal bidra til at omfang og konsekvenser av fuktproblemer og fuktskader blir betydelig redusert.

### **Organisering og finansiering**

Fuktprogrammet er gjennomført som et såkalt strategisk forskningsprogram ved Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og Institutt for bygg- og anleggsteknikk (IBA) ved NTNU.

Programmet har pågått i løpet av årene 1993 – 97 og er finansiert av Norges forskningsråd, med tillegg av betydelig egeninnsats fra NBI og IBA. Aktivitetene i programmet omfatter forskningsaktiviteter, kompetansebygging (blant annet i form av dr.ing.-utdanning) og utbygging av ressurser for laboratorie- og feltmålinger.

Norges forskningsråd bidrar med ca. 11 millioner kr av en totalramme på ca. 14,5 millioner.

De forskjellige aktivitetene innenfor programmet er blitt styrt av en styringsgruppe med tre medlemmer hver fra henholdsvis NBI og IBA. For å styrke kontakten med byggebransjen og andre fagmiljøer er programmet dessuten gjennom hele programperioden blitt fulgt opp av en referansegruppe med medlemmer fra forskjellige bedrifter og institusjoner.

Siviling. Sivert Uvsløkk, NBI har vært programleder, mens faglig ansvarlig har vært professor Jan Vincent Thue, IBA.

## **3 OVERSIKT OVER AKTIVITETER OG RESULTATER**

### **Kunnskapsbase er bygd opp**

Et delmål i programmet har vært å skaffe en best mulig oversikt over bygningsrelatert fuktforskning på internasjonal basis, både det som har skjedd i senere år og det som er i gang. Det er gjennomført litteratursøk i forskjellige litteratur-databaser, og sentral litteratur er anskaffet etter hvert.

Gjennom programvirksomheten er det bygd opp et omfattende fuktbibliotek ved de samarbeidende instituttene. Fuktbiblioteket vil være til stor nytte også etter at programmet er avsluttet. Informasjon om den innsamlede litteraturen er lagt i en egen database, slik at det er enkelt å finne fram til relevant litteratur når en står overfor en gitt problemstilling.

### **Kompetanseoppbygging på teorigrunlaget**

Gjennom litteraturstudier, kontakt med internasjonalt ledende forskningsmiljøer og interne seminarer og kurs har vi gjennom hele programperioden søkt å oppdatere medarbeiderne ved de deltakende instituttene vedrørende kunnskapsstatus med hensyn til beskrivelse og modellering av fukttransportprosesser i materialer og konstruksjoner.

Det er mange forskjellige drivkrefter og mekanismer for fukttransport. Derfor spenner aktivitetene over et bredt felt av bygningsfysikken. Som kjent kan fukttransport skje både ved diffusjon, ved kapillærtransport, med luftstrømning og på grunn av tyngdekraften eller temperaturforskjeller. Når forskjellige prosesser virker samtidig, kan totalbildet bli ganske komplekst.

I etterkant av programmet arbeides det med å lage en rapport med en mest mulig fullstendig oversikt over dagens kunnskapsstatus og forskjellige teorier og metoder for å beskrive og modellere fukttransportprosesser i materialer og konstruksjoner.

En viktig oppgave er også å oppdatere læremidler og undervisning innenfor området fukt og fuktproblemer i bygninger

### **Utprøving av beregningsmodeller**

Etter hvert fins det mange regnemodeller og beregningsprogrammer tilgjengelig fra forskjellige land. Vi har i første omgang valgt å anskaffe og få erfaringer med flest mulig av de eksisterende programmene, framfor å legge ned mye arbeid på å utvikle egne programmer.

En rekke regneprogrammer, fra kommersielle til rene forskningsprogrammer, er i løpet av programperioden anskaffet og utprøvd for å vurdere brukbarhet under norske betingelser.

Typisk for de fleste programmene er at de har betydelige begrensninger med hensyn til hvilke påkjennings situasjoner og geometrier de kan håndtere. Til praktisk bruk er det fortsatt nødvendig med god bygningsfysisk innsikt for å tolke beregningsresultatene på en fornuftig måte. Men det foregår en rivende utvikling på dette feltet, og forbedringer skjer stadig.

Flere av regneprogrammene er allerede tatt i praktisk bruk i forbindelse med vår ordinære oppdragsvirksomhet, og viser seg å være verdifulle hjelpemidler.

Det er utgitt en prosjektrapport som gir en komprimert beskrivelse av de mest aktuelle regneprogrammene (Stig Geving, Prosjektrapport 226, NBI). Rapporten presenterer i tillegg en praktisk metode for fuktteknisk analyse ved hjelp av slike beregningsverktøy.

En forutsetning for at beregningsmodeller skal gi pålitelige resultater er tilgjengelige relevante klimadata. I tilknytning til vurderingen av beregningsmodeller er det gjennomført et betydelig arbeid med å tilrettelegge norske klimadata for fuktdimensjonering. Det er utarbeidet klimadata til fuktberegninger på times- og månedsbasis for 12 forskjellige steder i Norge. Klimadataene er også utgitt på diskett (S. Geving og S. E. Torgersen, Prosjektrapport 225, NBI). I tillegg er det utarbeidet spesielle klimadata på månedsbasis for konstruksjoner mot grunnen, som for eksempel kjellervegger og plate på mark-konstruksjoner.

### **Kartlegging av materialelegenskaper**

Beregningsmodeller har liten verdi hvis en ikke har tilstrekkelig kunnskap om de relevante materialeegenskapene. På fuktfeltet er det ekstra komplisert fordi viktige materialeegenskaper kan være sterkt avhengige av fukt- og temperaturtilstanden.

Et delmål i programmet har derfor vært å forbedre våre muligheter til å måle materialers fuktegenskaper, og å gjennomføre målinger på viktige bygningsmaterialer. Her er det gjennomført betydelige investeringer i klimarom og måleutstyr.

Disse investeringene utgjør en viktig ressurs for materialprodusentene. I tiden framover vil produsentene bli stilt overfor stadig strengere krav med hensyn til å dokumentere sine produkters fuktegenskaper.

Ved laboratoriet i Trondheim er det i løpet av programperioden etablert flere nye klimarom, både for konstant klima og for programstyrt klimavariasjon. Laboratoriet har nå status som akkreditert laboratorium for måling av dampgjennomgangs- og sorpsjonsegenskaper.

I de to nye klimarommene med programstyrt klimavariasjon kan en gjennomføre prøving med konstant klimapåkjenning eller med en fastlagt tidsvariasjon av temperatur og relativ luftfuktighet. Klimapåkjenningene kan styres med stor nøyaktighet innenfor vide grenser. Klimarommene vil være meget verdifulle hjelpemidler i framtidige forsknings- og utviklingsprosjekter på fuktfeltet.

Et omfattende måleprogram med fastlegging av fuktegenskaper for flere forskjellige bygningsmaterialer er gjennomført.

Parallelt med å forbedre måleutstyret har en også arbeidet med å utvikle metoder for forskjellige typer fuktrelaterede målinger.

### **Verifisering av regnemodeller**

For å dimensjonere og evaluere konstruksjoners fukttekniske ytelse under forskjellige klimapåkjenninger er det ønskelig med modeller og metoder for beregningsmessig analyse. For å gi grunnlag for verifisering av slike modeller, er det gjennomført et omfattende program med målinger av fukt- og temperaturforhold i reelle konstruksjoner både i laboratoriet og i felt.

I tillegg til at disse målingene gir et datagrunnlag som kan sammenlignes med regnemodeller, gir de selvsagt nyttig informasjon om hvordan forskjellige konstruksjonsløsninger fungerer med hensyn til varme- og fukttekniske egenskaper.

Det er gjennomført forsøk med en rekke forskjellige konstruksjonsalternativer. Spesielt har vi sett på hvordan egenskapene for damp- og vindsperresjiktene i bindingsverksvegger innvirker på veggens hygrotermiske ytelse. Med skjerping av byggeforskriftens krav til varmeisolasjon på trappene i programperioden, har det også vært naturlig å studere spesielt hvordan økt varmeisolasjonstykkelse virker inn på fukttilstanden i konstruksjonene.

På forsøksfeltet til NBI og NTNU på Voll ved Trondheim har vi bygd opp et forsøkshus. Her kan en rekke forskjellige vegg- og takkonstruksjoner utprøves under naturgitte klimapåkjenninger. Forsøkshuset er bygd slik at vegg- og takfelt relativt enkelt kan byttes ut. I løpet av programperioden er det gjennom flere år utført målinger på både trekonstruksjoner og massive konstruksjoner. Målingene er lagt opp slik at det skal være enkelt å sammenligne måleresultatene med modellberegninger.



## **Doktorgradsutdanning**

Viktige deler av programmet er blitt gjennomført ved doktorgradsarbeider. Tre dr.ing.-stipendiater er blitt lønnet av programmet og i tillegg har en NTNU-finansiert stipendiat vært tilknyttet. Dr.ing.-arbeidene tar opp følgende problemstillinger:

*Fuktdimensjonering av bygningskonstruksjoner*, bl.a. med bruk av regnemodeller for fukttransport. Her er det arbeidet med modellering av klimapåkjenninger til bruk ved dimensjonering, og med metodikk for å dimensjonere og evaluere konstruksjoner. Arbeidet er nå sluttført og dokumentert med avhandlingen: Stig Geving: *Moisture design of building constructions – Hygrothermal analysis using simulation models*. Med dette dr.ing.-arbeidet ble grunnlaget lagt for rapporten om klimadata for fuktberegninger for 12 ulike steder i Norge, som er omtalt foran.

*Treverk utsatt for klimavekslinger*. Her har en studert egenskaper og oppførsel til treverk når det eksponeres for endringer i omgivelsenes relative fuktighet. Hvordan endres fuktinnhold og fuktfordeling i virket over tid? Bedre kunnskap her vil være nyttig bl.a. for å forstå fuktutvekslingen mellom materialet og omgivelsene, mekanismer for oppsprekking, og samvirket mellom treverk og overflatebehandling. I tillegg til grundige litteraturstudier er det gjennomført omfattende målinger med nyutviklet apparatur. Dette arbeidet er dokumentert gjennom dr.ing.-avhandlingen: Berit Time: *Hygroscopic Moisture Transport in Wood*.

*Fukttransport gjennom overflatebehandlinger* og samvirket mellom overflatebehandling og underlaget. Stipendiat Marit Støre har her studert hvordan fukt og fukttransport virker inn på overflatebehandling og et porøst underlag, som treverk og pussmørtel, bl.a. ut fra en bestandighetssynsvinkel. Også i dette arbeidet inngår omfattende målinger med avansert utstyr.

*Fukttransport med luftstrømning*. I dette prosjektet har stipendiat Øyvind Økland arbeidet dels teoretisk og dels eksperimentelt med problemer som kan oppstå ved at en har luftstrømning i eller gjennom isolerte konstruksjoner. Det kan være naturlig konveksjon inne i isolasjonsmaterialene, som bidrar til omfordeling og ev. opphoping av fukt og nedsatt isolasjonsevne, eller det kan være gjennomgående luftlekkasjer med fare for kondens- og bestandighetsproblemer. I arbeidet inngår bl.a. beregninger med de mest avanserte regneverktøy, som modellerer samvirkende varme-, fukt- og luftstrøm.

De to siste arbeidene vil bli sluttført og rapportert i løpet av våren -98.

I tilknytning til doktorarbeidene er det utført en rekke prosjekt- og hovedoppgaver av ordinære studenter ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk innenfor Fuktprogrammets emneramme. Bransjen får dermed tilgang på flere nyutdannede bygningsingeniører med økt bevissthet på fuktområdet.

## **Internasjonalt samarbeid**

En viktig del av arbeidet innenfor Fuktprogrammet har vært å innhente og nyttiggjøre seg internasjonalt forskningsarbeid, og knytte kontakter til de forskningsmiljøene utenlands som er lengst framme på fuktfeltet. Alle dr.ing.-stipendiatene og flere av programmedarbeiderne for øvrig har besøkt ledende forskningsinstitusjoner rundt om i verden for kortere eller lengre tid.



Et sentralt samarbeidsprosjekt hvor vi har deltatt, er IEA Annex 24 «Heat-, Air- and Moisture Transfer in New and Retrofitted, Insulated Envelope Parts» (HAMTIE). HAMTIE startet våren 1991 og Norge kom med som deltaker fra 1993. Her har forskere fra 14 land samarbeidet om å dokumentere og videreutvikle grunnlaget og praktiske og numeriske metoder for å behandle problemer med varme-, luft- og fukttransport i bygningskonstruksjoner. Arbeidet har i høy grad vært fokusert mot fuktproblemer. HAMTIE er nå formelt avsluttet, og sluttrapporter fra arbeidet foreligger.

Vi har dessuten deltatt (og deltar fortsatt) i arbeidet med felles europeiske standarder, som foregår i CEN-regi. Her arbeides det bl.a. med standardisering av fuktrelaterte prøvnings- og beregningsmetoder.

### **Publikasjoner og rapporter**

Gjennom hele programperioden har vi lagt vekt på å dokumentere og publisere våre erfaringer og resultater. Det skulle gå ganske klart fram av listen over publikasjoner som er utarbeidet i tilknytning til programmet.

I et kompetansebyggende program som dette, vil naturlig nok en god del av arbeidet være orientert mot forskersamfunnet, som doktoravhandlinger og bidrag til vitenskapelige konferanser, seminarer og tidsskrift.

Vi har imidlertid også sett det som viktig i størst mulig grad å bringe kunnskapene ut til praktisk anvendelse i byggebransjen. Noe er allerede gjort her, bl.a. i Byggforskserien, ved prosjektrapporter og i tilknytning til kursvirksomhet. Og mer vil komme etter hvert, som en del av vår normale informasjonsutveksling med bransjen.

Vårt ønske om å omsette vitenskapelig og forskningsmessig kompetanse til praksis kommer til uttrykk ved at vi i dette avslutningsseminaret vender oss til praktikerne heller enn forskerne. I seminaret ønsker vi å sette søkelyset på fuktproblemenes betydning for praktisk byggevirksomhet og bygningenes kvalitet for brukeren, ved å fokusere på konkrete, fuktsikre løsninger med utgangspunkt i kunnskapsstatus og aktuelle fuktpåkjenninger.

## **4 SLUTTORD**

Vi er takknemlige for at vi er blitt gitt muligheten til å arbeide med dette strategiske forskningsprogrammet. Det har satt oss i stand til å gjennomføre en betydelig forbedring av den kompetansen og de ressursene som står til bransjens rådighet for å løse fuktproblemer i fremtidens byggeri. Vi føler nå at vi har løftet oss opp til et nivå tilnærmet på linje med de fremste forskningsmiljøene i verden på dette feltet.

For at vi skal kunne beholde denne posisjonen, er det nødvendig at vi også i årene framover er bevisst på, og får mulighet til, fortsatt å arbeide med forsknings-, utviklings- og oppdragsvirksomhet på dette feltet. Her ligger det klart ansvar på oss selv, men også på Forskningsrådet og bransjens aktører!

# KUNNSKAPSOPPBYGGING GJENNOM STRATEGISKE INSTITUTTPROGRAM

Adm. direktør Åge Hallquist

## 1 BAKGRUNN

Ved omdanningen av NTNFI-instituttene til private stiftelser i 1985, var en av de store utfordringene hvordan man skulle ivareta kompetanseutvikling ved instituttene i en markedsstyrt økonomi. Overgangen fra en bevilgningsstyrt økonomi til en markedsstyrt økonomi startet mye tidligere, men den store endringen skjedde ved fristillingen. Se figur 1. Norges byggforskningsinstitutt, NBI, hadde frem til 1985 basert sin forskeropplæring på NTNFI-programbevilgninger som ga rom for teoretisk krevende oppgaver. Mange av NBIs forskere hadde kompetanse på doktorgradsnivå, men uten å ha tatt en formell doktorgrad. Ved utgangen av 1985 var det ved NBI 148 ansatte, hvorav 62 med universitetsutdannelse og to stykker hadde tatt doktorgrad. En forsker var igang med dr. studier ved NTH.

NBI var i 1986 klar over at med en reduksjon av programbevilgningene fra NTNFI, måtte kompetanseutviklingen for forskerne løses på en ny måte. Professor Øyvind Aschehoug, NTH, ble derfor engasjert i en deltidsstilling for en periode for å skape interesse blant NBIs forskere for doktorstudier og for å legge til rette for slike studier ved NTH. Dette initiativet bidro til at formalisert kompetanseutvikling fikk høyere prioritet og sterkere forståelse internt. Som et direkte resultat av denne første satsningen har alle de fire som startet med en doktorutdanning fullført og tatt sin dr.grad.

## 2 STRATEGISKE INSTITUTTPROGRAM

Norges forskningsråd bevilger basismidler for å styrke infrastrukturen ved instituttene. Basismidlene består av to deler, en grunnbevilgning hvor instituttene styrer bestemmer hvordan denne skal anvendes, og såkalte "Strategiske instituttprogrammer".

Temavalg for Strategiske instituttprogram skjer etter dialog mellom instituttene og Forskningsrådet. Områdestyret for Naturvitenskap og teknologi tildeler midler.

Forskningsrådets mål med strategiske program er utvikling av fremtidsrettet kunnskap på områder som er viktige for næringslivet, forvaltningen og samfunnet. Programmene skal også bidra til å knytte sammen forskningsoppgaver ved universiteter og forskningsinstitutter. Se figur 2. NBI søkte sammen med Institutt for bygg- og anleggsteknikk i 1992 på et Strategisk instituttprogram: Fukt i materialer og konstruksjoner. Søknaden ble innvilget og i perioden 1993 – 97 er programmet gjennomført. Dette programmet er det første som er gjennomført ved NBI.

Programmet ble organisert med sivilingeniør Sivert Uvsløkk, NBI, som prosjektleder og professor Jan Vincent Thue som faglig ansvarlig. En styringsgruppe med representanter for de to institusjonene ble etablert.

Etter at programperioden er avsluttet, må kompetansen som er ervervet være salgbar i et oppdragsmarked. For å sikre relevansen og skape interesse hos byggebransjen for programmet, ble det også etablert en referansegruppe:

Sivilingeniør Erik Algaard, Multiconsult AS  
Overingeniør Johan Borud, Statsbygg  
Professor Sten Olaf Hansen, Institutt for klima og kuldeteknikk, NTNU  
Professor Tore Haavaldsen, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU  
Utviklingssjef Stein Johannesen, Norske Skog AS  
Professor Anker Nilsen, Integrert bygningsteknologi, Sivilingeniørutdanningen i Narvik  
Avdelingsingeniør Jørgen Young, Isola AS

Programmet har bidratt til at flere av NBIs forskere har videreutviklet sin kompetanse ved å arbeide med deloppgaver, det er utviklet laboratorieutstyr og beregningsverktøy, og det er bygget et eget forsøkshus. To av de fire dr.studentene som ble knyttet til Fuktprogrammet er nå ansatt ved NBI. Samlet sett har derfor NBI fått et betydelig kompetanse- og kapasitetsløft gjennom programmet. En oversikt over aktiviteter og faglige resultater fra programmet er presentert av professor Vincent Thue i et eget innlegg.

### **3 KOMPETANSENIVÅET VED NBI I 1998**

En langsiktig satsning på kompetanseutvikling fra fristillingen i 1985 har bidratt til en betydelig heving av nivået ved NBI.

Antall ansatte med universitetsutdanning er øket fra 62 i 1985 til over 80. Antallet med dr.grad har øket fra to til at det nå nærmer seg 20. Fem ansatte holder på med dr.studier. Dette er en betydelig heving når antall ansatte ligger på omtrent samme nivå. Dette har skjedd i en periode hvor finansieringsgrunnlaget har endret seg radikalt. Se figur 3.

NBI deltok i 1997 i en sammenligning mellom et byggforskningsinstitutt i Finland, Nederland og Frankrike. Bl.a. ble antallet med dr.grad ved instituttene sammenlignet. NBI lå helt på høyde med de andre.

Allikevel ser NBI som sin største utfordring å make å drive en kompetanseutvikling for alle ansatte som sikrer en fortsatt rolle som et forskningsinstitutt på høyde med de beste i Europa. Strategiske instituttprogram på ulike kompetanseområder vil være av avgjørende betydning for å realisere denne målsettingen. En oversikt over satsningsområder ved NBI er vist i figur 4.

NBI er takknemlig for at Forskningsrådet har bevilget midler til to nye programmer:

- Bygninger i livssyklusperspektiv 1996 – 1999
- En mer innovativ og kvalitetsfokuset byggebransje. 1998 – 2001

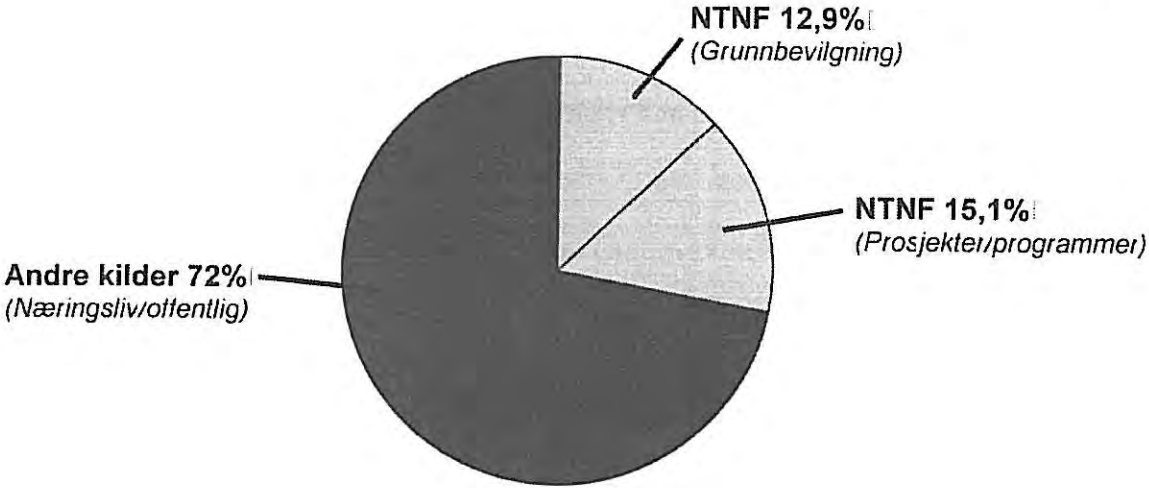
#### 4 AVSLUTNING

Fuktprogrammet har bidratt til å gjenoppbygge et helt nødvendig kunnskapsområde ved NBI. Programmet anses som meget vellykket og NBI retter en hjertelig takk til alle som har medvirket til dette:

- Programledelse
- Medarbeidere
- Dr.studenter
- Referansegruppe
- Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet
- Norges forskningsråd

# FINANSIERING 1985

Total oms. 50,5 MNOK

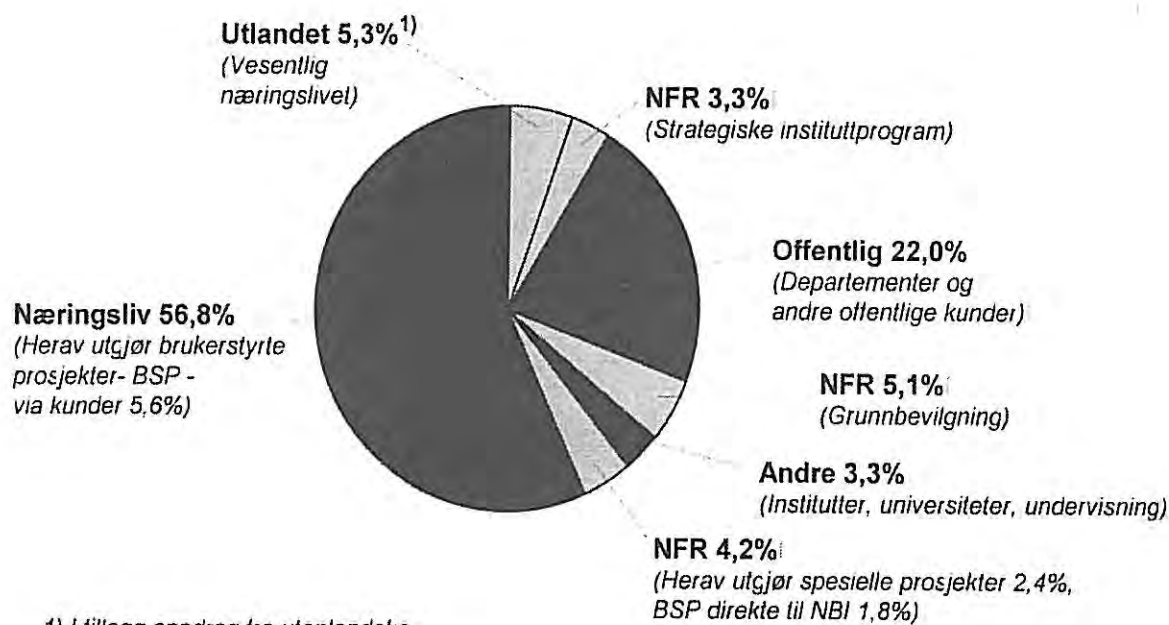


## STRATEGISKE INSTITUTTPROGRAM – SIP

- Strategisk program er et virkemiddel som skal stimulere til langsiktig faglig utvikling og kompetanseoppbygging ved forskningsinstitutter (SIP) og universitetsmiljøer (SUP).
- Slike programmer benyttes også for å stimulere til samarbeid mellom ulike forskningsgrupper og mellom universiteter og forskningsinstitutter.
- Strategiske programmer initieres oftest fra forskningsmiljøene gjennom en søknad fra et miljø via institusjonens ledelse. Prioritering skjer da i dialog mellom institusjonens ledelse og Forskningsrådet.

## FINANSIERING 1997

Total oms. 91,2 MNOK



1) I tillegg oppdrag fra utenlandske næringsliv via norske firma.

## SATSNINGSOMRÅDER

- Bærekraftig bygg- og anleggsvirksomhet
- Samspill i byggeprosessen
- Kvalitet i BA-sektoren
- Innovasjon i BA-sektoren
- Bygd miljø og samfunn
- Forskningsbasert kunnskapsformidling



# OM FUKTSKADER, FUKTDIMENSJONERING OG FUKTBEREKNINGSPROGRAMMER

Dr.ing. Stig Geving

## I BAKGRUNN

Fuktskader i bygninger og bygningskonstruksjoner er et velkjent problem for byggebransjen. Anslagsvis 75 – 90 % av alle bygningskader på utvendige konstruksjoner er i større eller mindre grad forårsaket av fukt. Dårlige fukttekniske løsninger er en svært utbredt årsak til tradisjonelle fuktskader. Fukt kan forårsake problemer som f.eks. råte, muggvekst, korrosjon, emisjon av skadelige stoffer og frostskafer, og vil derfor kunne påvirke både strukturell sikkerhet, bestandighet, utseende og helsemessige aspekter.

Systematisk evaluering av sikkerhet mot fuktskader har vært viet liten oppmerksomhet av byggebransjen. Omfattende bruk av preaksepterte bygningstekniske løsninger bygd på erfaringer gjort over lang tid, har likevel gitt relativt fuktsikre bygg. Det kommer imidlertid stadig nye materialer og produkter, samtidig som det hele tiden er et økonomisk press for å ta i bruk «billigere» og «raskere» løsninger. Faren for å velge løsninger det verken er langtidserfaringer med, eller som er vurdert godt nok fuktteknisk, er derfor økende. Ombyggingsprosjekter innebærer også ofte et dårlig utgangspunkt mht. fuktsikkerhet. Alt dette tilsier at kontroll med konstruksjonenes fukttilstand, i form av byggfukt, lekkasjer etc., bør tas mer på alvor enn tidligere.

Kunnskap om hvordan man bygger fuktsikre bygninger fins i stor grad tilgjengelig allerede i dag. Problemet er imidlertid å få byggherre-, prosjekterings- og produksjonssiden til å bruke denne kunnskapen. Kunnskap om fukt er spesielt viktig når utradisjonelle konstruksjonsløsninger tas i bruk. Mange fuktskader kan enkelt unngås dersom man følger prinsippene for fuktdimensjonering, og gjennomgår alle bygningsdeler med tanke på mulige fuktbelastninger. I Sverige har man jobbet med å bygge opp en metodikk for fuktdimensjonering av bygningskonstruksjoner, f.eks. fins det allerede generelle sjekklister for tak, yttervegg og golvkonstruksjoner (Harderup 1995).

I løpet av de senere årene er det blitt tilgjengelig mange regnemodeller og programmer for fuktberegninger fra forskjellige land. Programmene har forskjellig kompleksitet og gyldighetsområde. De kan ta hensyn til både diffusjon, kapillærsuging, fuktkonveksjon, interaksjoner mellom fukt og varmetransport etc. Verktøyene kan gi fuktteknisk analyse med en detaljeringsgrad som verken forskere, materialprodusenter eller rådgivere i byggebransjen tidligere har vært kjent med. Se (Geving 1997 a, 1997 b) for nærmere beskrivelse av slike beregningsprogrammer.

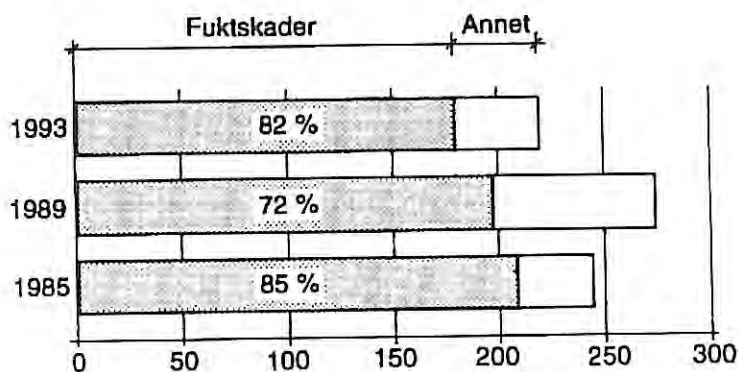
## 2 FUKTSKADER

*Definisjon: En fuktskade kan sies å være en skade eller et problem som direkte eller indirekte er forårsaket av fukt.*

### Omfang

Hvert år blir byggskader i Norge utbedret for en sum som tilsvarer minst 5 % av den totale årlige produksjonen av bygninger i Norge. I 1992 utgjorde summen ca. 2,5 milliarder kr. Omfanget av naturskader og brannskader som skyldes byggefeil, kommer i tillegg. Det samme gjelder skader som ikke kommer inn i statistikker, fordi skadelidende og den som har begått feilen, er kommet til forlik. Skader som oppdages og utbedres før overlevering, inngår heller ikke i tallet. Vannskader forårsaket av brudd på vannførende ledninger og installasjoner, kommer i tillegg på ca. 1 milliard kr pr. år. Slike vannskader defineres normalt ikke som byggskader. Hvis en antar at rundt 60 % av alle byggskader er forårsaket av fukt i større eller mindre grad, vil de årlige kostnadene av fuktskader beløpe seg til ca. 1,5 milliarder kr (ikke inkludert ledningslekkasjer o.l.).

Byggforsk undersøker hvert år en stor mengde byggskader. Omkring 3/4 av skadene som er behandlet av Byggforsk, er vann- og fuktskader, se figur 1. Det er grunn til å tro at denne andelen er representativ for det totale skadebildet i Norge.



*Figur 1 Prosentandel av byggskader som skyldes fukt (av antall skader som er etterforsket av Byggforsk)*

### Skademekanismer

Fukt er en viktig faktor i de fleste mekanismer som virker nedbrytende på bygningsmaterialer. Fukt kan også medføre en reversibel eller irreversibel endring av et materiales egenskaper. Virkningen av fuktskadene kan variere fra strukturelt sammenbrudd av konstruksjonen, redusert ytelse, helsemessig innvirkning (allergi) og forringet utseende. Eksempler på de mest vanlige skadene eller egenskapsendringene forårsaket av fukt er:

- råte/sopp i trematerialer
- muggvekst på overflater
- dårligere inneluftkvalitet
- svinn og svelling som gir vridning, deformasjon, utbuling og sprekkdannelse
- endring i fasthetsegenskaper, spesielt hos trematerialer

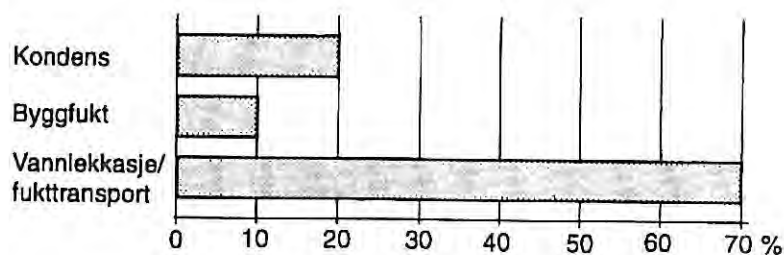
- frostsprengning
- korrosjon
- nedsatt varmeisolerende evne
- endringer i farge og utseende

### Fuktkilder

En forutsetning for en god utbedring av en fuktskade er at man vet hvor fukten kommer fra, dvs. kjenner til fuktkildene. De mest vanlige fuktkildene er:

- regn, snø, slagregn
- fukt fra inneluften (inkluderer fukttilskudd fra folk, planter, matlaging, fuktproduserende apparatur etc.)
- byggfukt
- vann i grunnen
- lekkasje fra installasjoner

I tillegg kan uforsiktig rengjøring med vann, oversvømmelse m.m. utgjøre ekstraordinære fuktkilder. Figur 2 viser fordeling av årsaker til fuktskader etter Byggforsks skadearkiv.



Figur 2 Fordeling av årsaker til fuktskader (skader som er etterforsket av Byggforsk.)

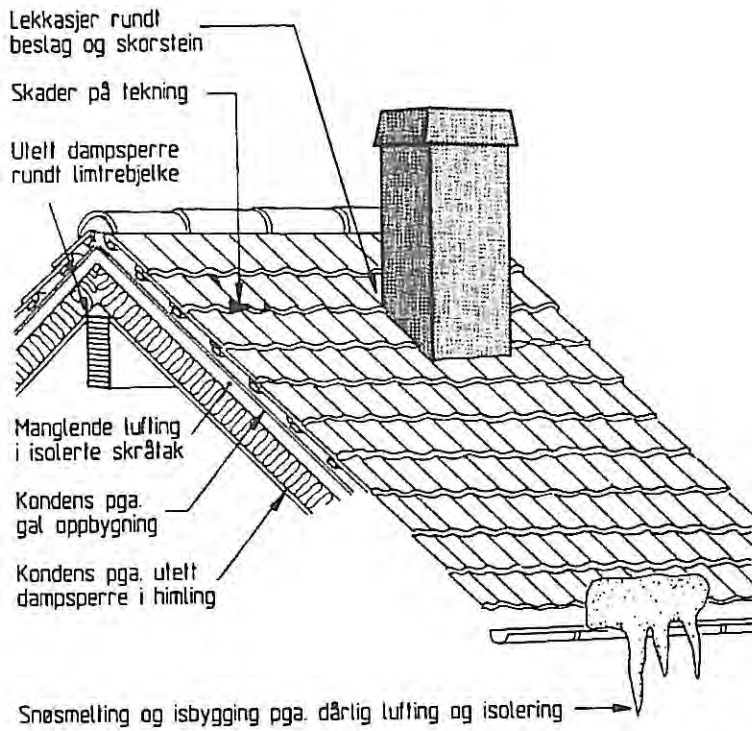
### Mekanismer for fukttransport

Transport av fukt gjennom materialer og konstruksjoner kan foregå på forskjellige måter:

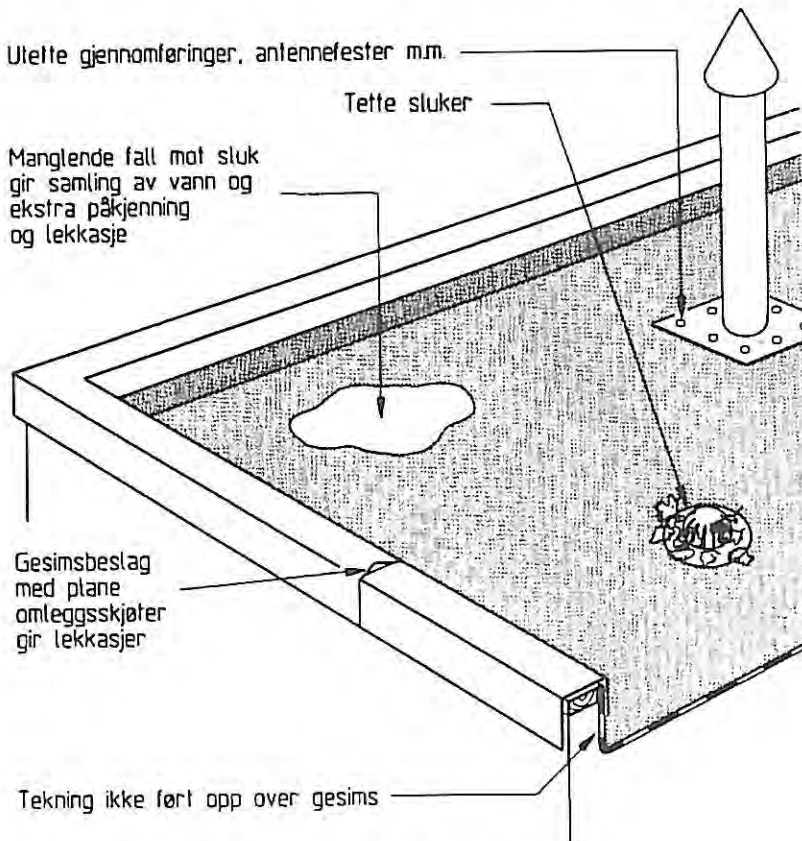
- Vanddamptransport
  - diffusjon
  - luftkonveksjon, luftlekkasjer
- Transport av vann i væskefase
  - kapillærsuging
  - vanntrykk
  - gravitasjon
  - vindtrykk

## Eksempler på fuktskader

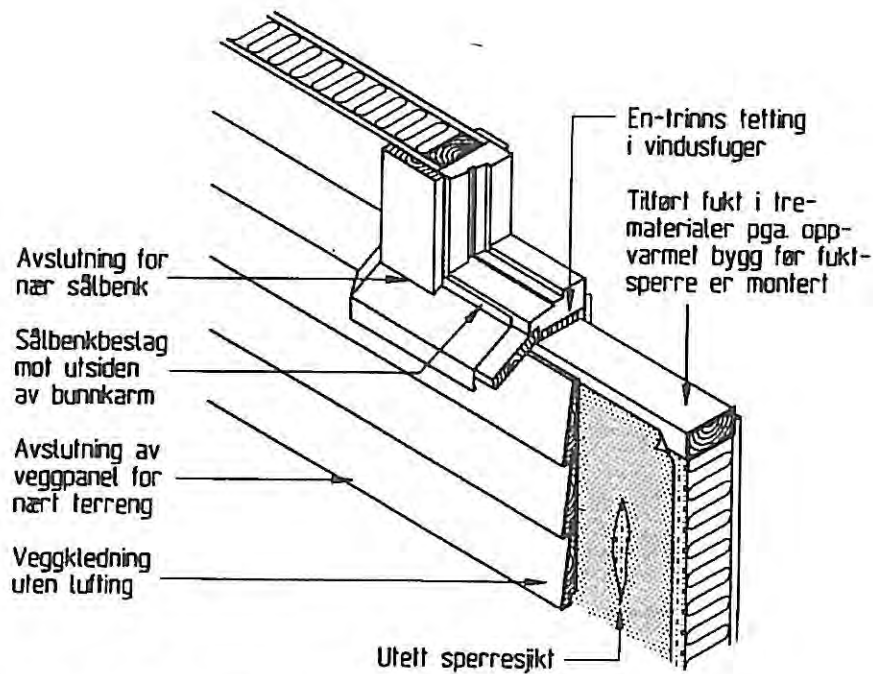
Figur 3 – 10 viser eksempler på typiske fuktskader for forskjellige bygningskonstruksjoner.



Figur 3 Vanlige skader og feil i isolerte skrå tak og tak med kaldt loft



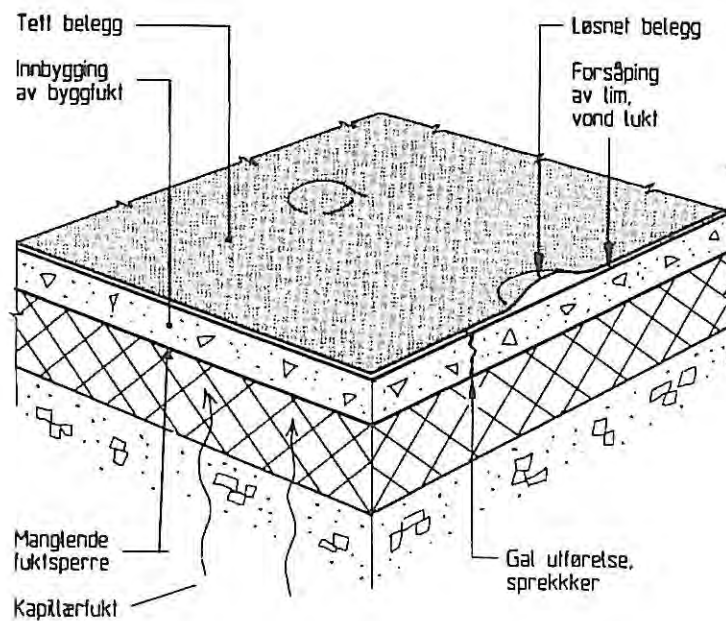
Figur 4 Vanlige skader og feil på flate tak



Andre skader og feil:

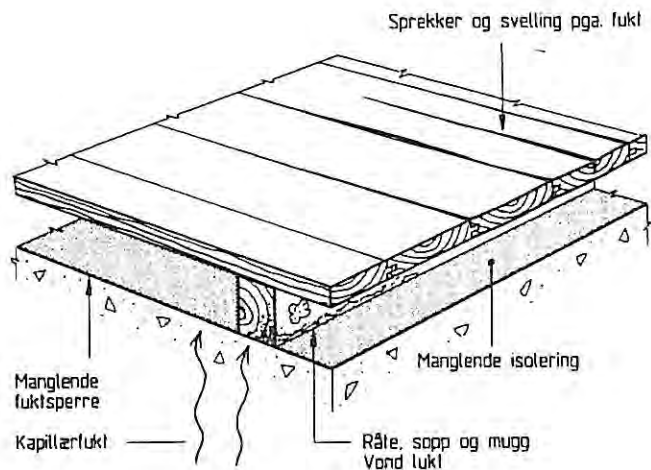
- Innblåsning av isolasjon i luftesjikt bak panel (slagregn)
- Utette elementfuger ved elementhus og stålkasettvegger
- Misfarging og malingsavflassing pga. vanninntregning bak panel
- Korrosjon på metallplateledning
- Misfarging av rust fra borespon
- Temperatur og fuktbevegelser i plane plateledninger
- Kuldebroer i stålstendere og stålkassetter

Figur 5 Vanlige skader og feil på lette yttervegger



a.



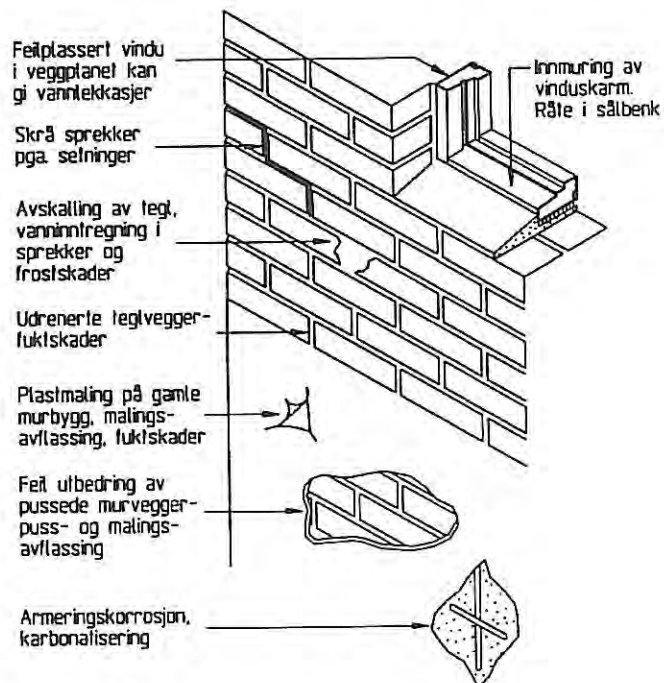


b.

Andre skader og feil:

- Feil bruk av lokaler
- Forandret temperatur- og fuktforhold i kjelleren
- Radon
- Kulebroer og manglende isolering

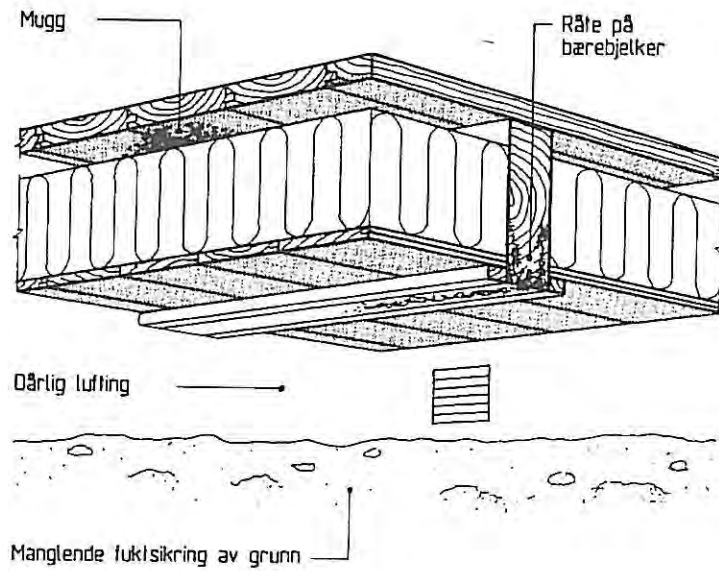
Figur 6 Vanlige skader og feil i golv på grunnen (a. Støpt plate på grunn, b. Oppfôret tregolv på betong)



Andre skader og feil:

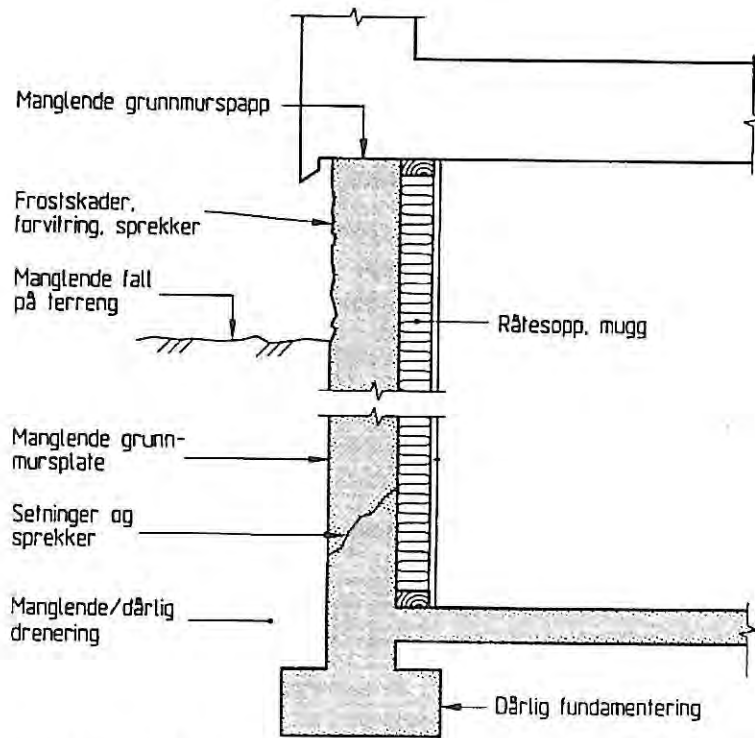
- Mangel/ull forankring av fasader (elementer og tegl)
- Betongskader - utbedring uten tilstandskontroll - nye skader
- Etterisolering av gamle murvegger - frostskaider
- Lekkasje fra taknedtøp. OBS: Treverk bak puss i eldre hus
- Keramiske fliser på betong - gal utførelse - avskalling
- Horisontale og vertikale sprekker pga temperaturbevegelser og manglende fuger
- Steinreir - vann- og luftlekkasjer

Figur 7 Vanlige skader og feil i yttervegger av mur og betong



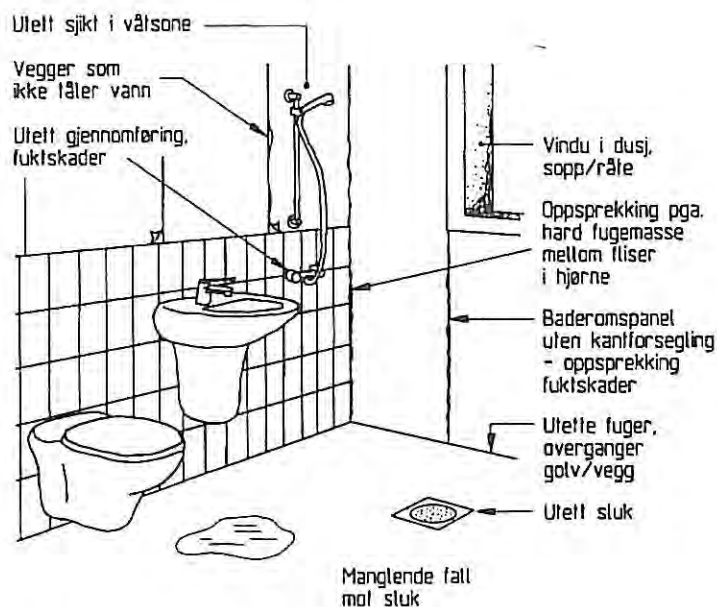
- Andre skader og feil:
- Manglende grunnmurspapp
  - Korrosjon på stålkonstruksjoner

Figur 8 Vanlige skader og feil i kryperom



- Andre skader og feil:
- Kuldebroer og manglende isolering

Figur 9 Vanlige skader og feil på grunnmur og kjelleryttervegg



Andre skader og feil:

- Tette gulvbelegg på betonggulv - blærer
- Varmekabler - misfarging på belegg, spesielt under gulvmatter
- Gall underlag - løse fliser
- Høy luftfuktighet, manglende ventilasjon
- Manglende membran

Figur 10 Vanlige skader og feil på våtrom

### 3 TEKNISK FORSKRIFT 1997, OM FUKT

#### TEKNISK FORSKRIFT TIL PLAN- OG BYGNINGSLOVEN, KAPITTEL 8 – MILJØ OG HELSE

##### § 8-22 Tetthet:

*Fukt skal ikke kunne trenge inn og redusere bygningsdelenes varmeisolerende yteevne eller forringe bygningens levetid.*

##### § 8-37 Fukt:

###### 1. Generelle krav

*Bygningsdeler og konstruksjoner skal være slik utført at nedbør, overflatevann, grunnvann, bruksvann og luftfuktighet ikke kan trenge inn og gi fuktskader, mugg-, soppvekst eller andre hygieniske problemer.*

###### 2. Fuktsikring

*Terreng rundt byggverk skal ha tilstrekkelig fall fra byggverket når ikke andre tiltak er truffet for å lede bort overflatevann. Rundt bygningsdeler under terreng og under gulvkonstruksjoner på bakken, må treffes nødvendige tiltak for å lede bort sigevann og hindre at fukt trenger inn i konstruksjonene.*



*Fasadeledning, vinduer, dører og installasjoner som går gjennom vegger, skal utformes slik at skadelig fukt kan tørke ut.*

*Tak skal ha tilstrekkelig fall slik at regn og smeltevann renner av. Dersom kondens kan oppstå på undersiden av takteking eller takteking ikke er tilstrekkelig tett til å forhindre inntrenging av vann, må underliggende konstruksjon beskyttes ved hjelp av et vanntett sjikt.*

### *3. Våtrom*

*Bad og vaskerom skal ha sluk. Rom med sluk skal ha gulv med tilstrekkelig fall mot sluk for de deler av gulvet som må antas å bli utsatt for vann regelmessig.*

*Gulv, vegger og tak som kommer til å bli utsatt for vannsøl, lekkasjevann eller kondens, skal utføres med fuktbestandige overflatematerialer. Bakenforliggende konstruksjoner og rom som kan påvirkes negativt av fukt skal være beskyttet av et vanntett overflatemateriale eller et egnet vanntett skikt. Materialer velges slik at faren for mugg- og soppdannelse er minimal.*

### *4. Byggfukt*

*Materialer og konstruksjoner skal være så tørre ved innbyggingen/forsegling at det ikke oppstår problemer med tilvekst av mikroorganismer, nedbrytning av organiske materialer og økt avgassing.*

## **4 GENERELL METODE FOR FUKTDIMENSJONERING**

### **Innledning**

*Med begrepet fuktdimensjonering menes de avgjørelsene i byggeprosessen som skal sikre at bygningen ikke får skader eller ulemper som direkte eller indirekte er forårsaket av fukt. Med tilgang på ferdig utviklede rutiner og hjelpemidler burde det være like naturlig å gjøre en fuktdimensjonering som f.eks. en statistisk dimensjonering.*

### **Metode for fuktdimensjonering**

En systematisk metode for fuktdimensjonering er beskrevet skjematisk i Figur 11. Metoden er basert på (Harderup 1995). Den innebærer at fuktsikkerheten for hver bygningsdel med tilhørende detaljløsninger behandles separat, og at bygningsdelen deretter gjøres så fuktteknisk god som mulig. Inn- og utvendig fuktbelastning på konstruksjonen må bestemmes (regn, byggfukt, innvendig fuktproduksjon etc.). Dimensjoneringen kan deretter gjøres ut fra tre forskjellige metoder: bruk av forhåndsdokumenterte løsninger, kvalitative vurderinger og kvantitative vurderinger.

Bruk av forhåndsdokumenterte løsninger innebærer f.eks. bruk av blad i Byggforskserien og håndbøker samt egne eller andres erfaringer. Framgangsmåten er den mest brukte og anvendelige metoden i dag, men har den begrensning at det må være overensstemmelse mellom den anbefalte og den utførte løsningen når det gjelder konstruksjonsoppbygning, materialbruk og omgivende klima.

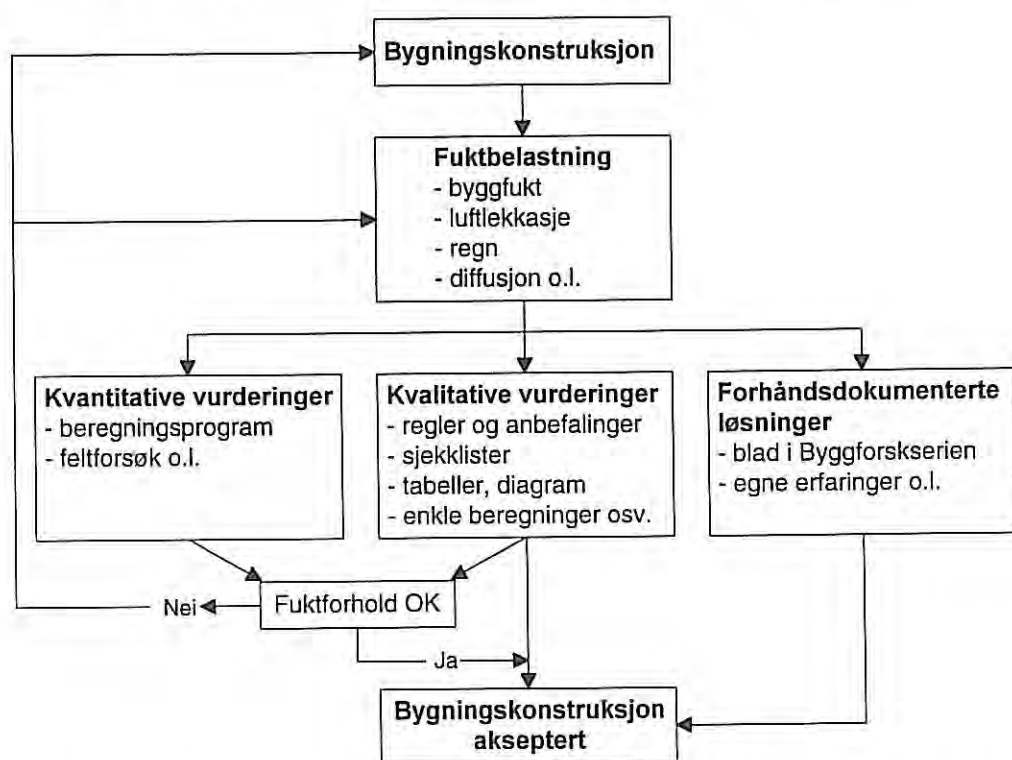
Kvalitative vurderinger innebærer f.eks. bruk av sjekklister, tabeller og diagram. Enkle beregninger som kondensberegninger regnet for hånd inngår også her, samt anbefalinger om

bruk av materialer og komponenter som er gunstige for visse typer klima med hensyn til langtidsaspekter.

Kvantitativ vurdering innebærer at man benytter mer eller mindre nøyaktige beregningsverktøy for å kontrollere fuktforholdene eller anvender fullskalaforsøk som testhus eller pilotforsøk. Bruk av beregningsverktøy blir behandlet nærmere i punkt 5. Problemet med fullskalaforsøk er blant annet at de er kostbare og tar lang tid.

Til slutt i fuktdimensjoneringen sammenlignes kvantitativt eller kvalitativt bestemte fuktnivåer med de kritiske grenseverdiene for de enkelte materialene. Hvis fuktforholdene er OK, kan bygningskonstruksjonen aksepteres.

For den prosjekterende vil de to første metodene være mest aktuelle. Kvantitative vurderinger med bruk av avanserte beregningsprogrammer og feltforsøk vil trolig være mest aktuelt ved utvikling av nye typer konsepter og løsninger. Som regel gjøres en fuktdimensjonering etter at konstruksjonen er dimensjonert for andre funksjoner, f.eks. styrke, varmebehov og brannkrav.



Figur 11 Komponenter som inngår i en systematisk gjennomført fuktdimensjonering

Figur 12 viser et eksempel på en generell sjekkliste for fuktdimensjonering av ytterveggkonstruksjoner. Til hvert enkelt av delpunktene under de forskjellige klimabelastningene hører et eget sjekkpunkt, som f.eks.:

- Nedbør: Fasadematerialets overlapper og tilslutninger skal være utført slik at vann ikke kan transporteres inn i konstruksjonen kapillært eller ved vindpåvirkning.
- Byggfukt: Kontroller at konstruksjoner med materiale som tilføres fukt under produksjonen, f.eks. betong, kan tørke ut i rimelig tid.

Det vil være aktuelt med egne sjekklister for prosjekterende og utførende.

YTTERVEGGSKONSTRUKSJONER				
NORMAL FUKTPÅVIRKNING				
	Punkt	Godkjent		Kommentarer
		Ja	Nei	
Nedbør	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
Luffuktighet ute	1			
	2			
Luffuktighet inne	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
EKSTRAORDINÆR FUKTPÅVIRKNING				
	Punkt	Godkjent		Kommentarer
		Ja	Nei	
Nedbør i byggeperioden	1			
	2			
	3			
Byggfukt	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
Lekkasje	1			
	2			
	3			
	4			

Figur 12 Eksempel på sjekkliste for fuktdimensjonering av ytterveggskonstruksjoner.

## 5 FUKTDIMENSJONERING VED HJELP AV BEREGNINGSPROGRAM

### Beregningsprogram

Til nå har det ikke vært vanlig praksis å gjøre fuktberegninger utover svært enkle stasjonære diffusjonsberegninger, av og til referert til som Glaser-metoden. Denne metoden har dessverre mange alvorlige begrensninger som reduserer dens nytteverdi. Utviklingen av stadig kraftigere og billigere datamaskiner har gjort det praktisk mulig å gjennomføre kompliserte beregninger i et helt annet omfang enn før. De siste årene er det blitt utviklet mange praktiske hygrotermiske beregningsmodeller som kan brukes til å beregne den kombinerte varme- og fukttransporten i bygningskonstruksjoner (Geving 1997 a og 1997 b). Disse modellene har varierende grad av kompleksitet, men de fleste er numeriske modeller som tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene og som løser den tidsavhengige koblede varme- og massetransport gjennom bygningskonstruksjonen.

Programmene kan ta hensyn til både diffusjon, kapillærsuging, fuktkonveksjon, interaksjoner mellom fukt og varmetransport etc. Noen av dem fungerer som rene forskningsverktøy, men det fins også en del kommersielle beregningsprogrammer. Verktøyene kan gi fuktteknisk

analyse med en detaljeringsgrad som verken forskere, materialprodusenter eller rådgivere i byggebransjen tidligere har vært kjent med.

Fuktberegningsprogrammer har mange forskjellige bruksområder. Potensielle brukere er f.eks. konsulenter i bygningsfysikk, produsenter av bygningsmaterialer/komponenter og forskere. Noen eksempler på aktuelle bruksområder er:

- prosjektering av nye bygninger
- rehabilitering av eldre bygninger
- analyse av fuktskader
- beregning av uttørkingstider for byggfukt
- analyse av nye typer bygningsmaterialer og konstruksjoner
- etterregning av felt- og laboratorieundersøkelser
- forståelse av bygningsfysiske fenomener

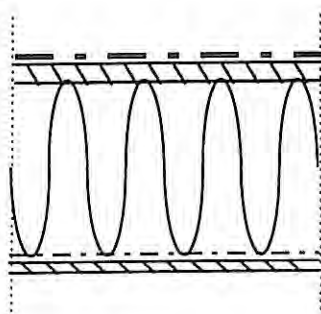
### Beregningseksempel

Det kommersielle fuktberegningsprogrammet med størst utbredelse i Europa er det danskutviklede programmet MATCH (Moisture and Temperature Calculations for Constructions and Hygroscopic Materials). MATCH er et 1-D program som regner ikke-stasjonært time for time med diffusjon og kapillærtransport, samt varmetransport (Geving 1997 b). Figur 14 viser et beregningseksempel på et kompakt varmt tak bestående av fra utsiden 1,2 mm PVC-membran, 22 mm kryssfinér, 200 mm mineralull, 0,15 mm PE-folie og til slutt 12 mm sponplate innvendig. I figur 15 vises beregninger for samme konstruksjon, men i stedet for PVC-membranen er det brukt et dampåpent undertak med opplektet luftet tekning på oversiden av kryssfinéren (som altså gir et luftet kaldt tak). Konstruksjonene er vist i figur 13.

I beregningene er det brukt reelle klimadata fra Oslo, samt et høyt startnivå for fuktinnholdet i konstruksjonen for å simulere byggfukt. En analyse av resultatene viser at mens løsningen med dampåpent undertak har meget gode uttørkingsmuligheter for kryssfinéren, vil det kompakte taket knapt tørke ut i det hele tatt på årsbasis. Virkningen av ev. gjennomgående trebjelker er ikke tatt med her, men vil innebære enda høyere fuktnivå pga. omfordeling av byggfukt. Når relativ luftfuktighet kommer over 80 % over en periode, er det fare for mugg og råte i trevirke. Det kan derfor konkluderes med at et kompakt tak som vist her har stor risiko for skader på kryssfinéren pga. byggfukt eller annen fuktilførsel.

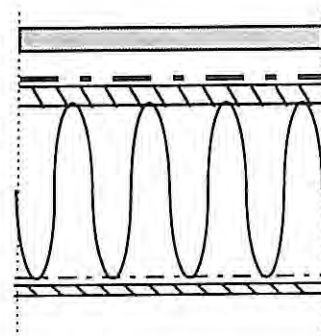
Kompakt, varmt tak:

1. PVC-membran
2. Kryssfiner, 22 mm
3. Mineralull, 200 mm
4. Plastfolie, 0.15 mm
5. Sponplate

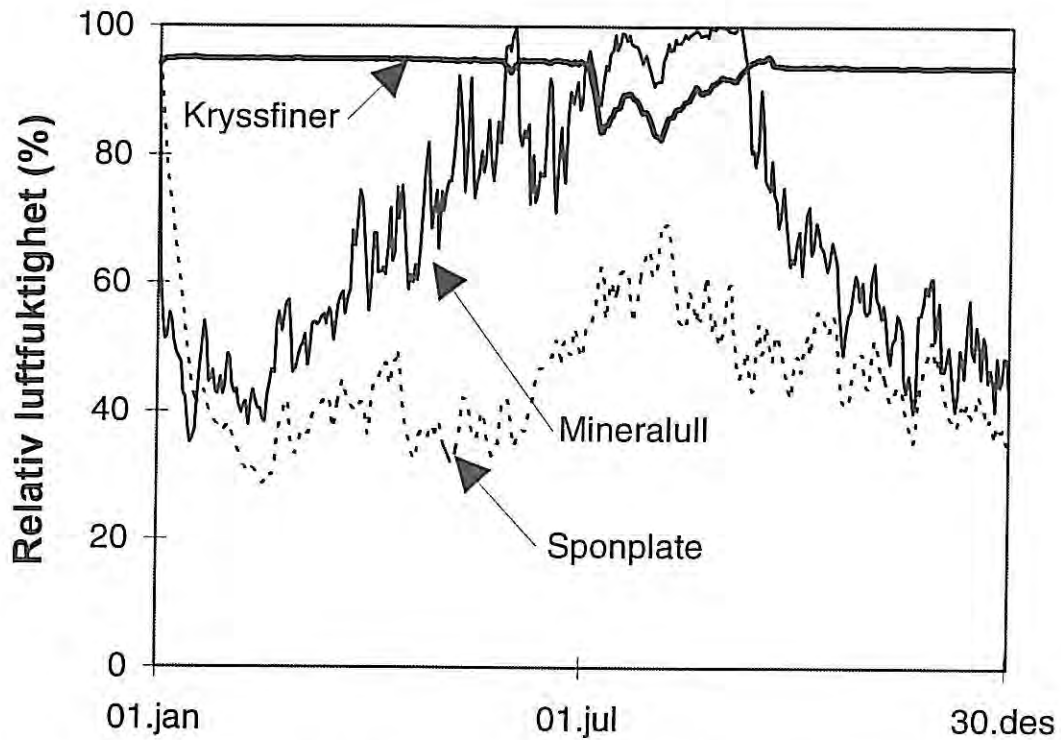


Luftet, kaldt tak:

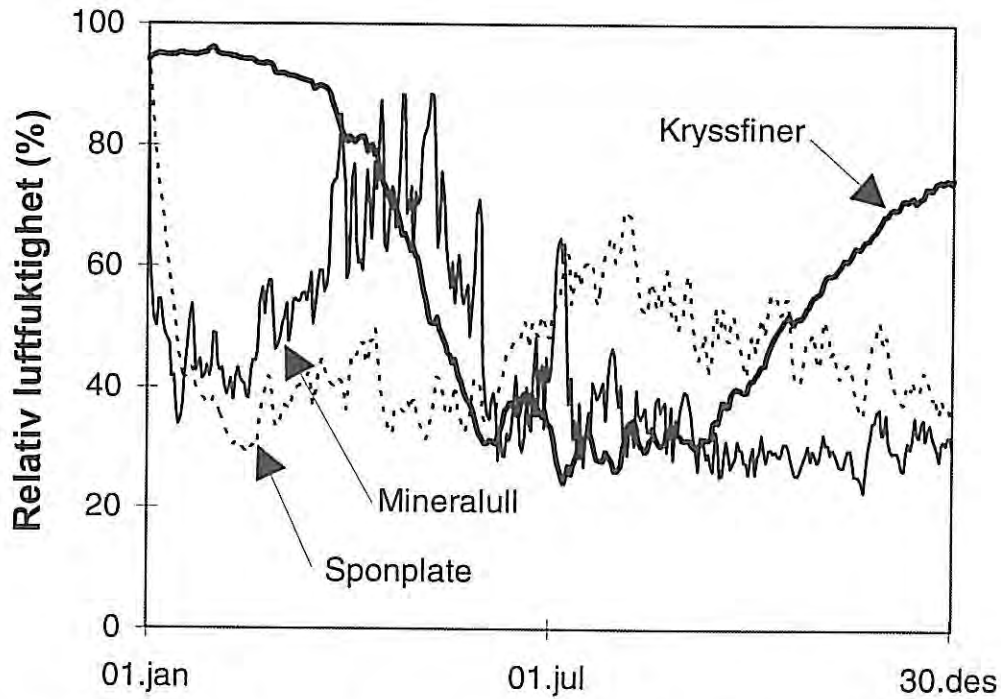
1. Opplektet og luftet tekning
2. Dampåpent undertak
3. Kryssfiner, 22 mm
4. Mineralull, 200 mm
5. Plastfolie, 0.15 mm
6. Sponplate, 12 mm



Figur 13 Konstruksjonene brukt i beregningseksemplet



Figur 14 Relativ luftfuktighet (%) i materiallagene i det kompakte varme taket over et helt år. Beregnet med MATCH programmet



Figur 15 Relativ luftfuktighet (%) i materiallagene i det luftede kalde taket med dampåpent undertak over et helt år. Beregnet med MATCH programmet



### **Bruk av beregningsprogrammer**

Byggforsk og IBA har gjennom flere år testet og prøvd ut en rekke forskjellige beregningsprogrammer, blant annet for å finne ut hvor brukbare de er under norske forhold. Erfaringer mht. bruksområder, muligheter og begrensninger har vært positive. Beregningsmodellene brukes derfor stadig oftere på konkrete problemstillinger. Praktisk bruk av slike programmer med hensyn til materialparametre, klimadata og statistiske vurderinger, er undersøkt i (Geving 1997 a). Klimadata for fuktberegninger er blitt skaffet fram for 12 steder i Norge (Geving og Torgersen 1997). For praktisk bruk er det likevel fortsatt nødvendig med god bygningsfysisk innsikt for å tolke beregningsresultatene fornuftig.

## **6 LITTERATUR**

Harderup, E. 1995. Fuktdimensjonering med generell checklista. Tak-, yttervæggs- og grundkonstruksjoner med anslutningsdetaljer. TVBH 95/7164 SE(1-23). Byggnadsteknik, Lunds tekniska högskola, Sverige

Geving, S. 1997 a. Moisture design of building constructions. Hygrothermal analysis using simulation models. Dr. avhandling. Institutt for bygg og anleggsteknikk, NTNU. Trondheim

Geving, S. 1997 b. Beregningsprogrammer for fuktteknisk analyse av bygningskonstruksjoner. Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 226. Oslo

Geving, S. og S.E. Torgersen. 1997. Klimadata for fuktberegninger. Referanseår for 12 steder i Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen. Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 227. Oslo

# MÅLING AV FUKTFORHOLD I VEGGER OG TAK – fullskalaforsøk med tak- og veggelementer i forsøkshus på Voll i Trondheim

Siv.ing. Sivert Uvsløkk

## 1 INNLEDNING

I forskningsprogrammet om fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner er det utført en rekke fullskalaforsøk med komplette vegg- og takelementer av bindingsverk, samt med noen andre veggtyper, både i laboratoriet (klimarom) og i et forsøkshus.

Ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU, er det gjennomført flere diplomarbeider der fuktforholdene i bindingsverksvegger er undersøkt i et klimarom. Det som først og fremst har vært undersøkt, er vegger med utradisjonelle innvendige «dampbremsere», i stedet for den vanlige dampsperreren av polyetylenfolie. I klimarommet har veggene vært utsatt for kunstige, forholdsvis harde og vanligvis stasjonære klimaforhold. Mange av de samme veggvariantene er også undersøkt under naturlig vekslende Trondheimsvær utvendig og kontrollert klima innvendig i det nye forsøkshuset på Voll. Målingene har pågått siden høsten 1994 og fram til dags dato.

Det har vært to hovedformål med fullskalaforsøkene:

- å framskaffe gode måleresultater for veldefinerte konstruksjoner under kjente klimabetingelser for å verifisere beregningsmodeller og programmer for fukttransport i bygningskonstruksjoner
- å undersøke i hvilken grad utradisjonelle kombinasjoner av innvendig og utvendig dampmotstand gir økt risiko for oppfukting ved diffusjon

Vi vil her gi en oversikt over hvilke vegg- og takvarianter som er undersøkt i forsøkshuset på Voll, hvilke målinger som er gjort, samt noen foreløpige resultater. Vi arbeider fortsatt med en sluttrapport fra forsøkene.

## 2 BESKRIVELSE

Langvegger og tak i forsøkshuset består av elementer som er prefabrikkert innendørs av en ferdighusprodusent. Elementene er festet til et bæresystem av rammer og bjelker av stål. Innvendig er huset 10,7 m langt, 3,45 m bredt og 3,3 m høyt. Alle elementene er 1,2 m brede, og det er lagt inn polyetylenfolie mellom dem for å hindre fukttransport fra element til element. Elementene kan skiftes ut enkeltvis. Tegninger som viser mål og oppbygging av typiske vegg- og takelementer, er vist i figur 1. Figur 2 viser husets orientering og plasseringen av de enkelte elementene.

Alle veggelementene av bindingsverk er isolert med mineralull, ett med 300 mm og resten med 150 mm. De har liggende, dobbeltfalsset utlektet trekledning, unntatt ett hvor kledningen

ligger direkte mot vindspærren. Snitt-tegninger som angir de enkelte materialsjiktene i veggfeltene, er gitt i figurene 3 og 4.

Alle takelementene har helning 1:40. Seks har taktro av kryssfinér teknet med takfolie, hele hulrommet fylt med mineralull og med dampspærre av 0,15 mm PE-folie på den varme siden. Fire har massive trebjelker med høyde 198 mm, mens to er bygd som rene sandwich-elementer. Elementene er ikke lufttet og har derfor trematerialer innestengt mellom damprette sjikt, en løsning vi *fraråder brukt i praksis* fordi taket da får minimal uttørkingsevne og dårlig fuktsikkerhet. Her har vi bygd dem slik for å undersøke fuktvandring ved innestegning av fukt for å sammenligne med beregningsprogrammer. Snittegninger av takelementene er vist i figur 5.

I forsøkshuset er det i første rekke oppfukning og uttørking ved diffusjon, samt fuktfordeling ved naturlig konveksjon i isolasjonen inne i elementene, som er undersøkt. Alle bindingsverkselementene ble derfor forsøkt utført med god nøyaktighet og med god lufttetthet slik at vi skulle unngå oppfukning ved luftlekkasjer gjennom elementene. I forbindelse med Øyvind Øklands doktorarbeid ble det imidlertid høsten 1996 lagt inn utettheter i to av veggfeltene, E2 og E3, for å undersøke oppfukning ved luftlekkasjer.

### 3 MÅLINGER

Innetemperatur og relativ luftfuktighet i forsøkshuset er forsøkt holdt konstant på henholdsvis 23 °C og 50 % RF ved hjelp av termostatstyrte varmemotører i golvet og luftfukter styrt av en hygroskop. Huset har mekanisk til- og fraluft-system med kammervarmeveksler. I størstedelen av tiden har det vært undertrykk i huset og derfor ingen luftlekkasjer som har ført til oppfukning. 6. april 1997 ble ventilasjonsanlegget stilt om slik at det siden har vært overtrykk inne. Det ble gjort for å undersøke oppfukning ved luftlekkasjer innenfra og ut, spesielt i veggfeltene E2 og E3, som hadde innlagte utettheter.

Fuktinnholdet i stendere og sviller av tre og i taktro av kryssfinér er målt ved hjelp av to elektroder som er boret inn med 25 mm avstand. Et instrument registrerer den elektriske motstanden i trevirket mellom de to elektrodene. Fuktinnholdet finnes indirekte ut fra en kjent sammenheng mellom elektrisk motstand og fuktinnhold.

Siden høsten 1994 er det ved hjelp av et loggesystem registrert fuktinnhold og temperatur hver time på utvalgte steder i alle bindingsverkselementene. Se figurene 6 og 7, som viser hvor følerne er plassert. I noen av gassbetongelementene er temperatur og RF registrert. Uteklimate er registrert ved hjelp av en Waisala automatisk værstasjon som er plassert ca. 10 m fra forsøkshuset.

### 4 RESULTATER

Eksempler på registrert fuktinnhold i noen av elementene er vist i diagrammene 1 – 6. De viser døgnmiddelverdier i treårsperioden fra 1. januar 1995 til 31. desember 1997. Det mangler måleverdier for noen kortere perioder på grunn av feil eller fordi loggesystemet har vært ute av drift.



### Fuktinnhold, veggelement E1

Beskrivelse: Innvendig kledning av 12 mm hard trefiberplate, 0,15 mm PE-folie, 148 mm Glava, 13 mm Asfalt vindtett

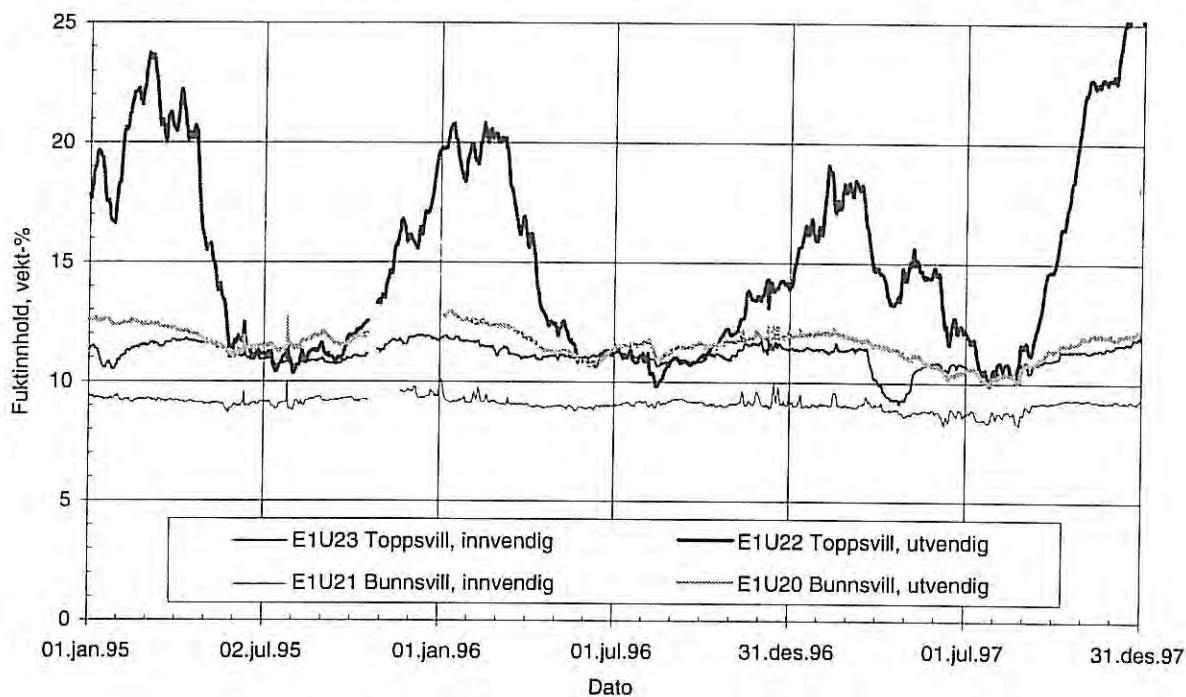


Diagram 1

### Fuktinnhold, vestvegg element W3

Beskrivelse: Innvendig kledning av 12 mm hard trefiberplate, Rockwool VS, 148 mm Glava, 9 mm GU gipsplate

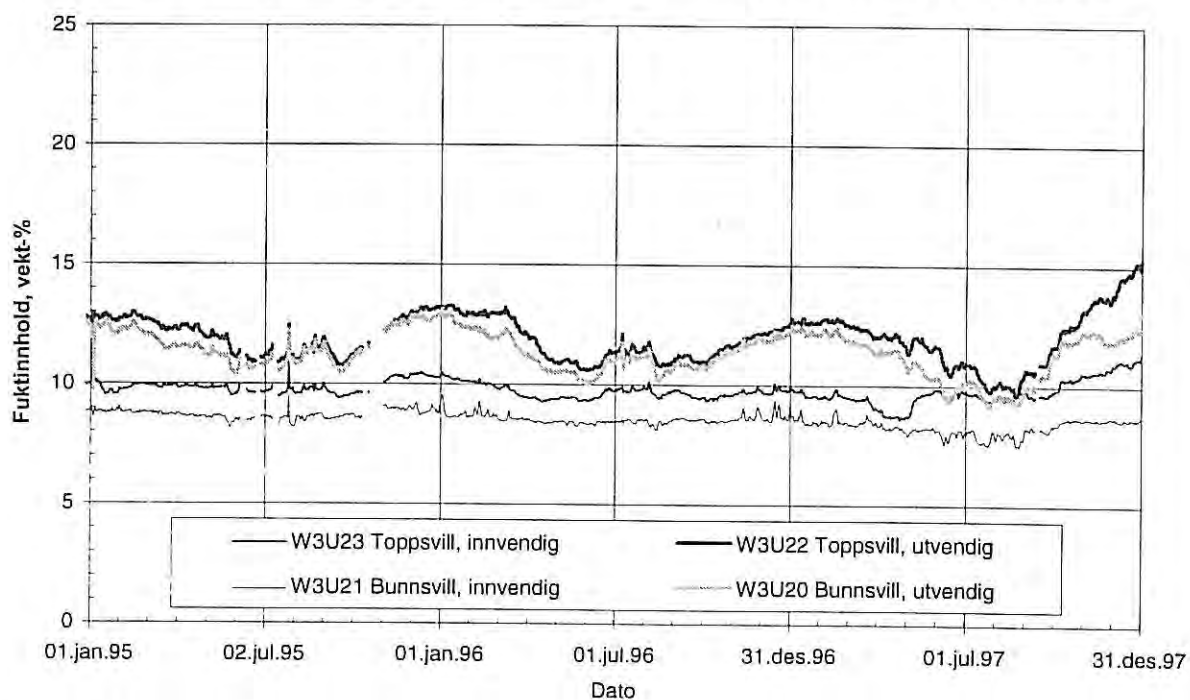


Diagram 2

### Fuktinnhold, vestvegg element W4

Beskrivelse: Innvendig kledning av 12 mm hard trefiberplate (ingen dampsperre), 148 mm Glava, 9 mm GU gipsplate

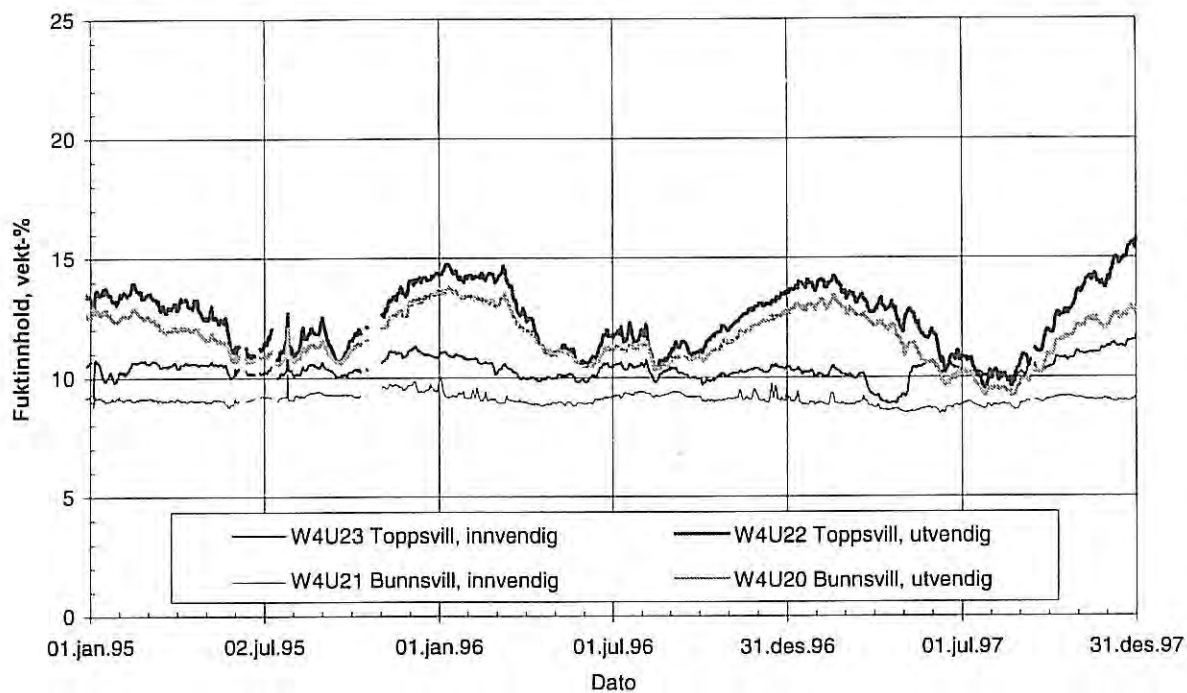


Diagram 3

### Fuktinnhold, vestvegg element W7

Beskrivelse: Innvendig kledning av 9 mm GU gipsplate (ingen dampsperre), 148 mm Glava, 9 mm GU gipsplate

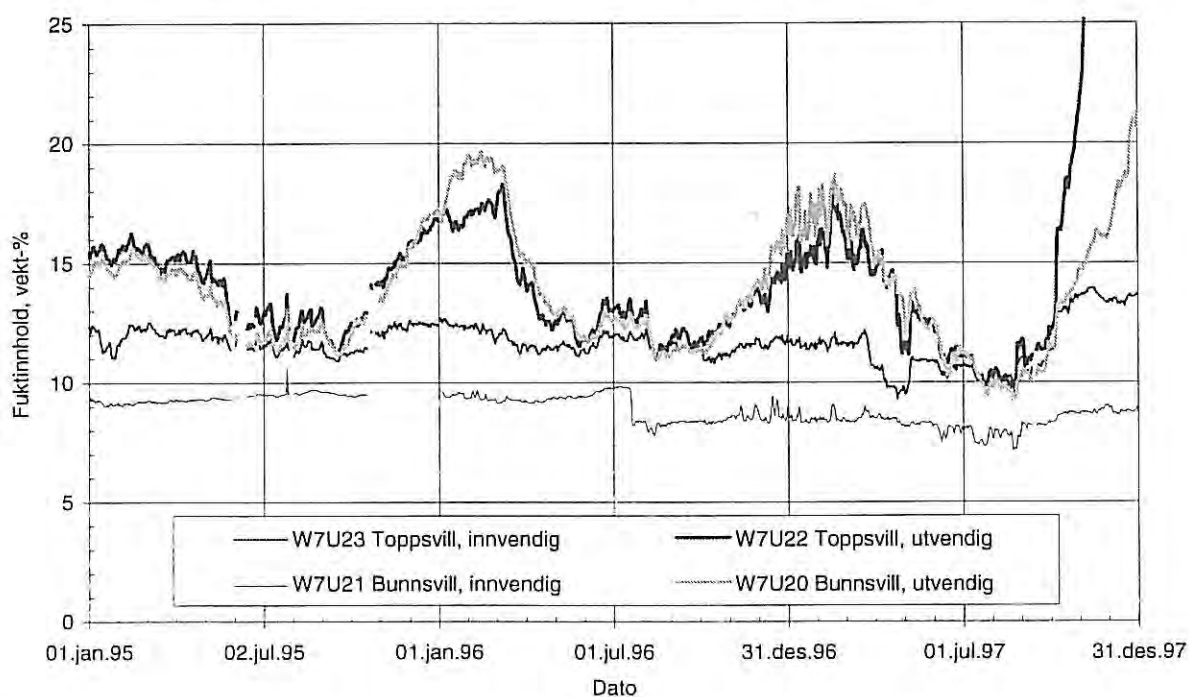


Diagram 4

### Fuktinnhold, tak element R1

Beskrivelse: Himling av 12 mm sponplate, dampspærre av 0,15 mm PE-folie, 200 mm glassull/198 mm x 48 mm sperrer c/c 600 mm, 22 mm kryssfiner, mørk takfolie av 1 mm PVC

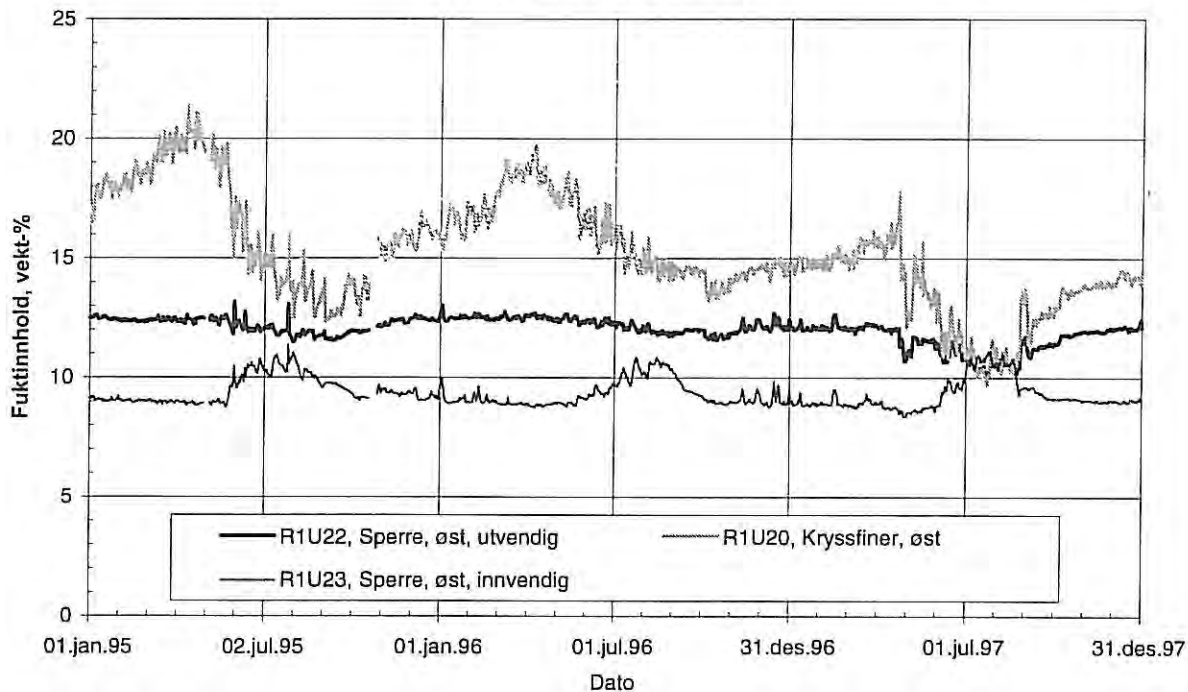


Diagram 5

### Fuktinnhold, tak element R2

Beskrivelse: Himling av 12 mm sponplate, dampspærre av 0,15 mm PE-folie, 200 mm glassull/198 mm x 48 mm sperrer c/c 600 mm, 22 mm kryssfiner, lys takfolie av 1 mm PVC

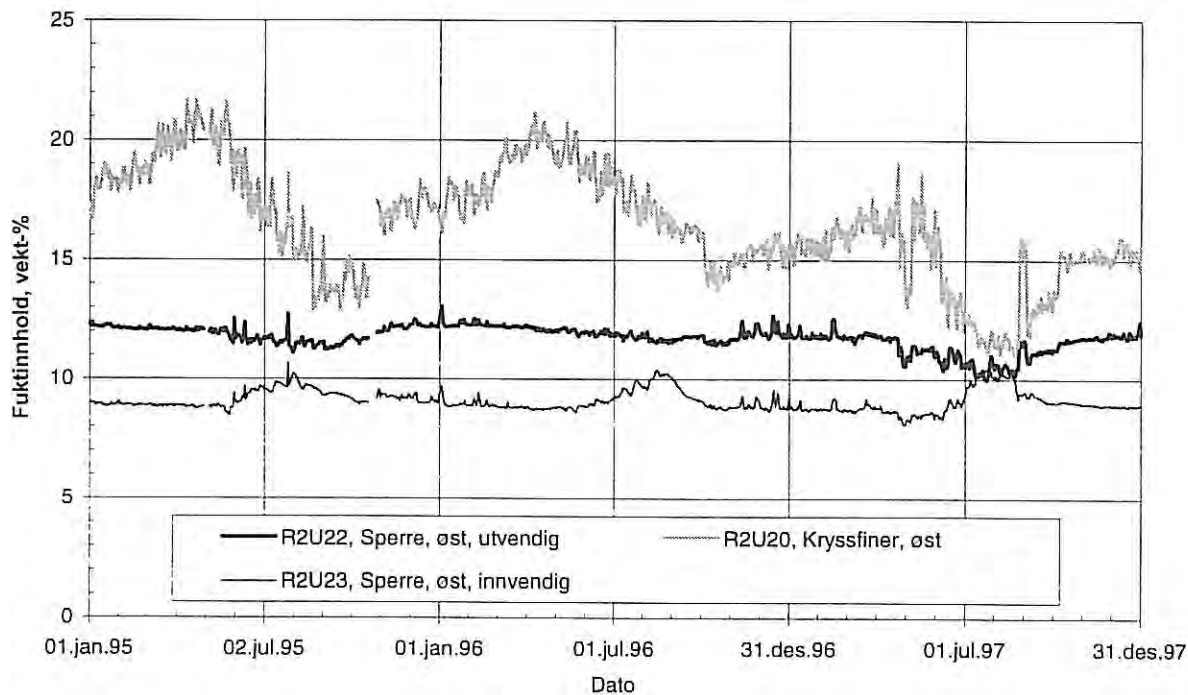


Diagram 6

## 5 KOMMENTARER

### *Diagram 1, østvegg element E1*

Elementet har tradisjonell oppbygning. Her er innvendig og utvendig dampmotstand henholdsvis 64 m og 0,23 m ekvivalent luftlagtykkelse, og forholdet mellom dem 277.

Hele bunnsvillen og indre deler av toppsvillen har et lavt, forholdsvis stabilt fuktinnhold på mellom 8 og 13 vektprosent. Utvendig del av toppsvillen har derimot forholdsvis høyt fuktinnhold om vinteren. Maksimalverdien var ca. 24 % første vinteren og avtakende til 21 % og 19 % de påfølgende vintrene.

Da veggfeltene ble åpnet, viste det seg at isolasjonsmatten i dette feltet ikke nådde helt opp til toppsvillen slik at det var en liten, gjennomgående luftspalte oppe under svillen.

Luftspalten har med stor sansynlighet ført til ekstra stor fuktfordeling fra resten av bindingsverket til toppsvillen på grunn av naturlig konveksjon. Termisk oppdrift fører til at luften strømmer oppover i den varmeste delen av isolasjonen og nedover i den ytre kaldeste delen. Når luften strømmer fra varm til kald side oppe, blir den nedkjølt, RF øker og luften vil avgi fukt. I dette veggfeltet har mye av luftstrømmen blitt konsentrert til luftspalten, der strømningsmotstanden er minst, slik at ekstra mye fukt er tilført den ytre, kaldeste delen av toppsvillen.

Selv om fuktnivået har vært høyt nok for soppvekst, har temperaturen i de samme periodene stort sett vært for lav til at det er blitt noen vekst. Det var ingen synlige tegn til mugg eller fargeskadesopp på toppsvillen.

Det samme har skjedd også i noen andre veggelementer, og aller mest i element E4, hvor det også var merker etter fargeskadesopp på toppsvillen.

Høsten 1997 har det vært en ekstra stor oppfukting av den ytre, kalde delen av toppsvillen, både i dette og i de fleste andre elementene. Årsaken er at det siden våren 1997 har vært et innvendig overtrykk i forsøkshuset og derfor luftlekkasje innenfra og ut gjennom utetthetene i elementene.

### *Diagram 2, vestvegg element W3*

Elementet er uten PE-folie, men har Rockwool Vindsperre som «dampbrems». I dette elementet er innvendig og utvendig dampmotstand henholdsvis 5 og 0,08 m ekvivalent luftlagtykkelse og forholdet mellom dem 63.

Her er fuktinnholdet forholdsvis lavt, mellom 8 % og 13 % i alle målepunktene, bortsett fra høsten 1997. Her slutter isolasjonen godt opp til toppsvillen, som har omtrent samme fuktinnhold som bunnsvillen.

### *Diagram 3, vestvegg element W4*

Elementet har bare 12 mm hard trefiberplate på varm side av isolasjonen. Innvendig og utvendig dampmotstand er henholdsvis 0,53 m og 0,08 m ekvivalent luftlagtykkelse, og forholdet mellom dem 6,6.

Fuktinnholdet i svillene er ca. 1 % høyere enn i element W3, men også her godt under faregrensen.

#### *Diagram 4, vestvegg element W7*

I dette elementet, som bare har 9 mm GU gipsplate på begge sider av isolasjonen, er innvendig og utvendig dampmotstand begge lik 0,08 m og forholdet mellom dem 1. Fukttinnholdet ytterst på svillene er ca. 4 % høyere enn i de øvrige veggelementene, men heller ikke her har det vært over 20 %.

#### *Diagram 5 og 6, tak element R1 og R2*

Disse elementene har dampsperre av 0,15 mm PE folie og PVC takfolie. Innvendig og utvendig dampmotstand er henholdsvis 64 m og 14 m ekvivalent luftlagtykkelse, og forholdet mellom dem 4,4.

Elementene er helt like bortsett fra at på R1 vender den mørke siden av takfolien opp, mens på R2 vender den lyse siden opp. R1 blir dermed noe varmere av sola, noe som har ført til at fuktinnholdet i kryssfinérplaten er litt lavere i dette elementet.

For øvrig ser en at disse elementene synes å tørke ut, men det tar tid. Ved plassbygging og normalt innhold av byggfukt kan uttørkingen sannsynligvis ta mange år.

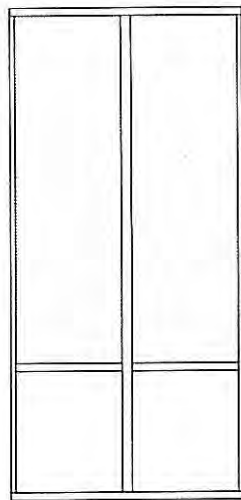
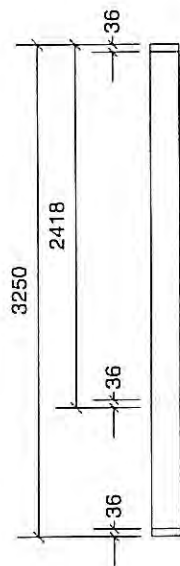
#### *Sluttkommentar*

Som nevnt foran har ventilasjonsanlegget fram til våren 1997 gitt et innvendig undertrykk, selv oppe under taket. Fram til da har det dermed ikke vært oppfukting på grunn av luftlekkasjer, men i stedet kan eventuelle utettheter ha medført uttørking.

Selv om fuktinnholdet i flere av de utradisjonelle konstruksjonene har vært forholdsvis lavt i disse forsøkene, kan resultatene derfor ikke uten videre overføres til praktiske forhold. Flere av konstruksjonene kan få uønsket høyt fuktinnhold ved vanlig utførelse på byggeplass, under normale trykkforhold og på mer værutsatte og kaldere steder.

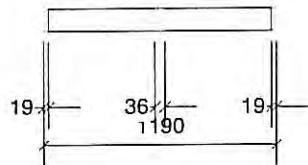
Vi anbefaler fortsatt god lufttetthet og god uttørkingsevne for å oppnå vegger og tak med god fuktsikkerhet.





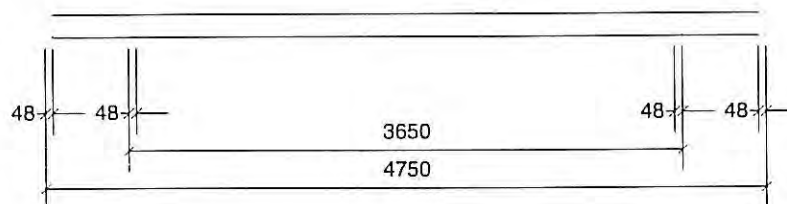
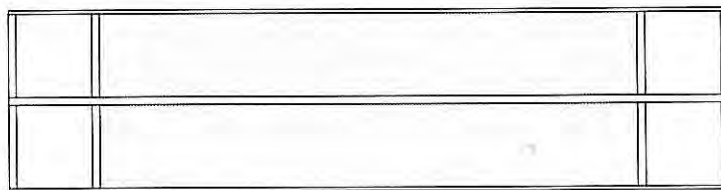
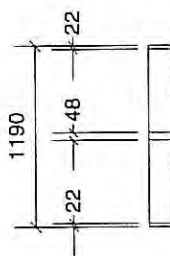
Toppsvill 36 x 148  
 Stender side 19 x 148  
 Stender midt 36 x 148  
 Bunnsvill 36 x 148

Måleområde er markert med gråtone

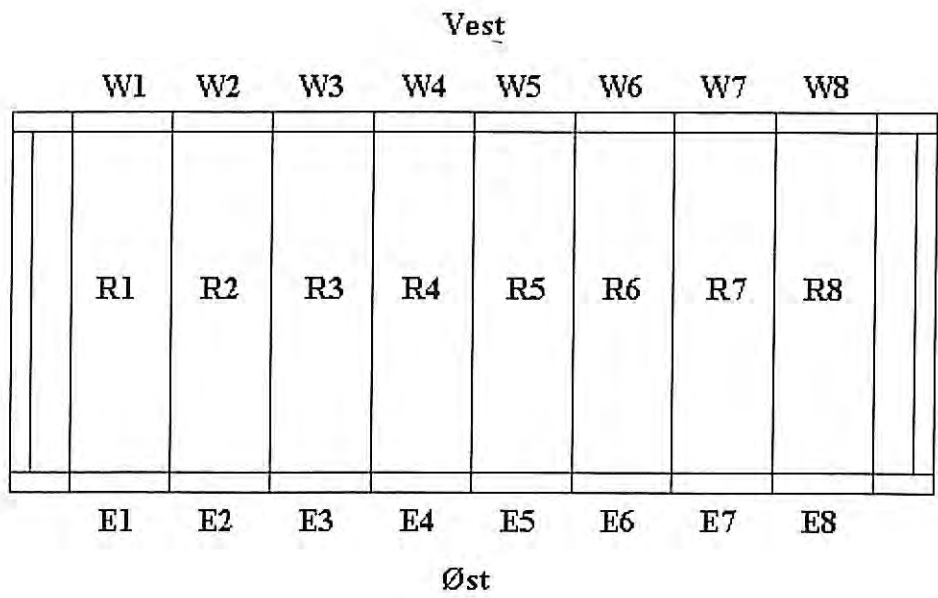


Sperre side 22 x 198  
 Sperre midt 48 x 198  
 Kantbjelker/kubbinger 48 x 198

Måleområde er markert med gråtone

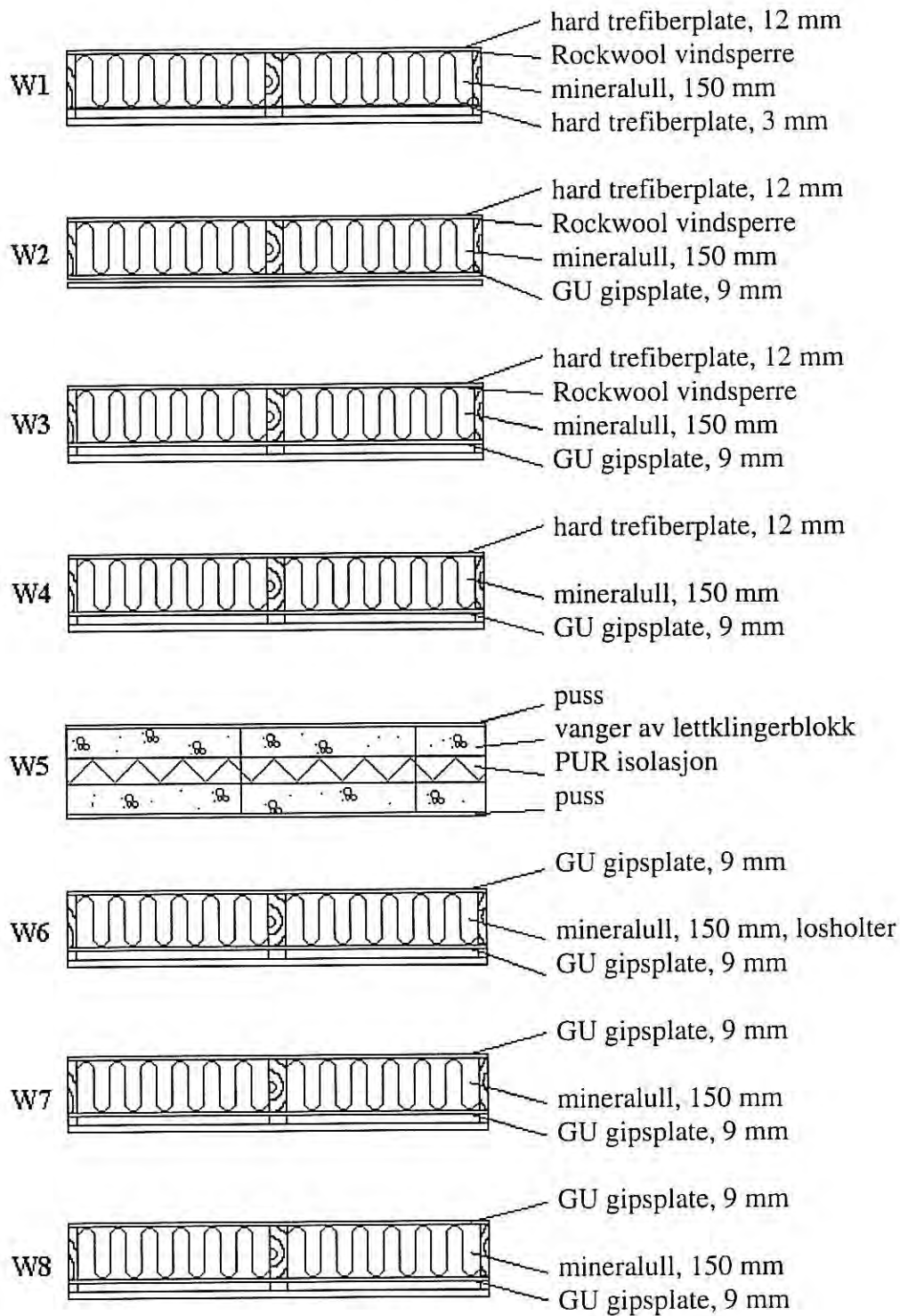


Figur 1  
 Tegninger som viser oppbygning og mål på bindingsverket i vegg- og takelementene



*Figur 2*  
 Plan av forsøkshuset på Voll i Trondheim, som viser plasseringen av vegg og takelementene.  
 Husets lengdeakse er i nord – sørretning

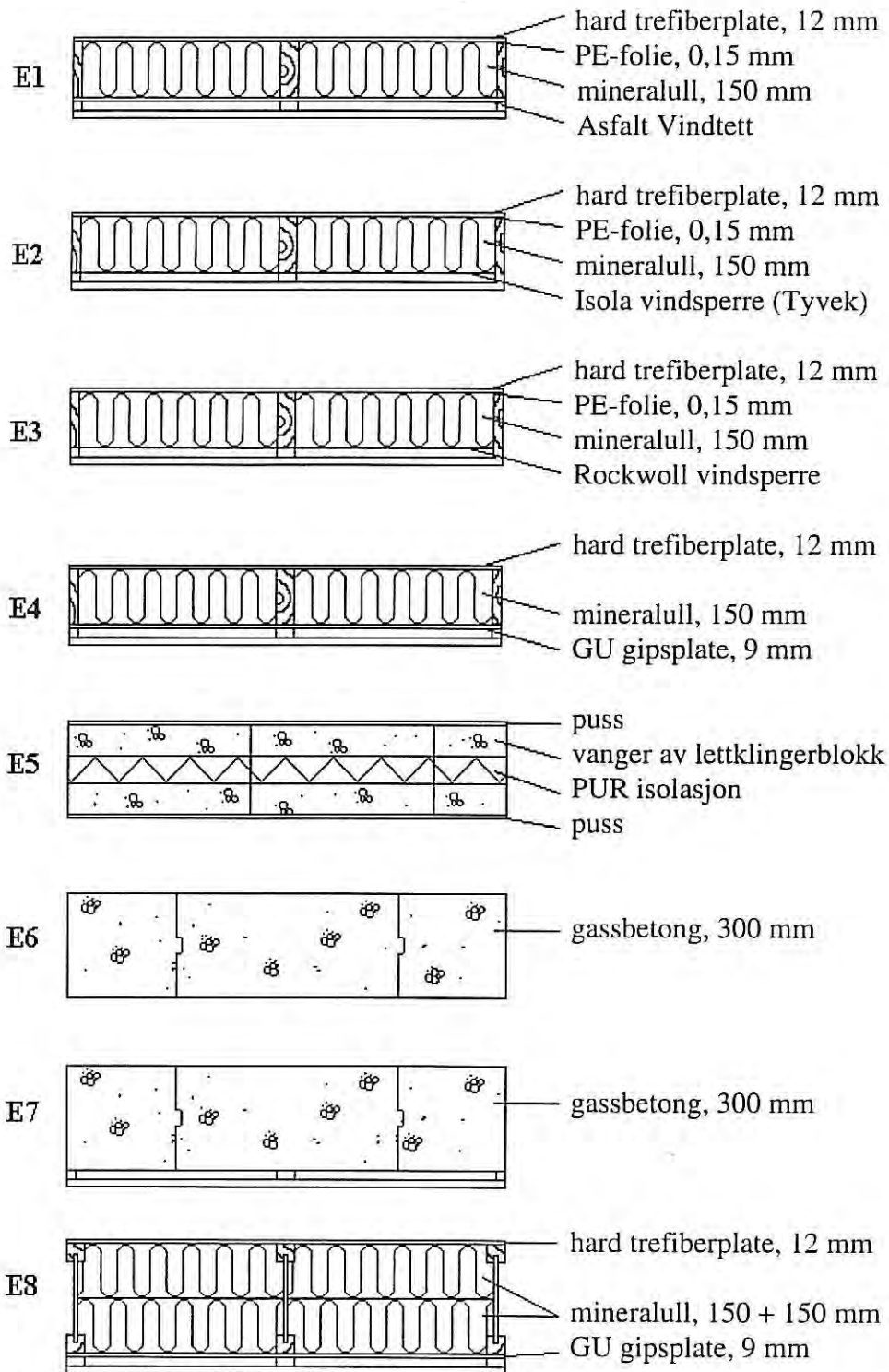
Oppbygging av vestvegg-elementene



Figur 3

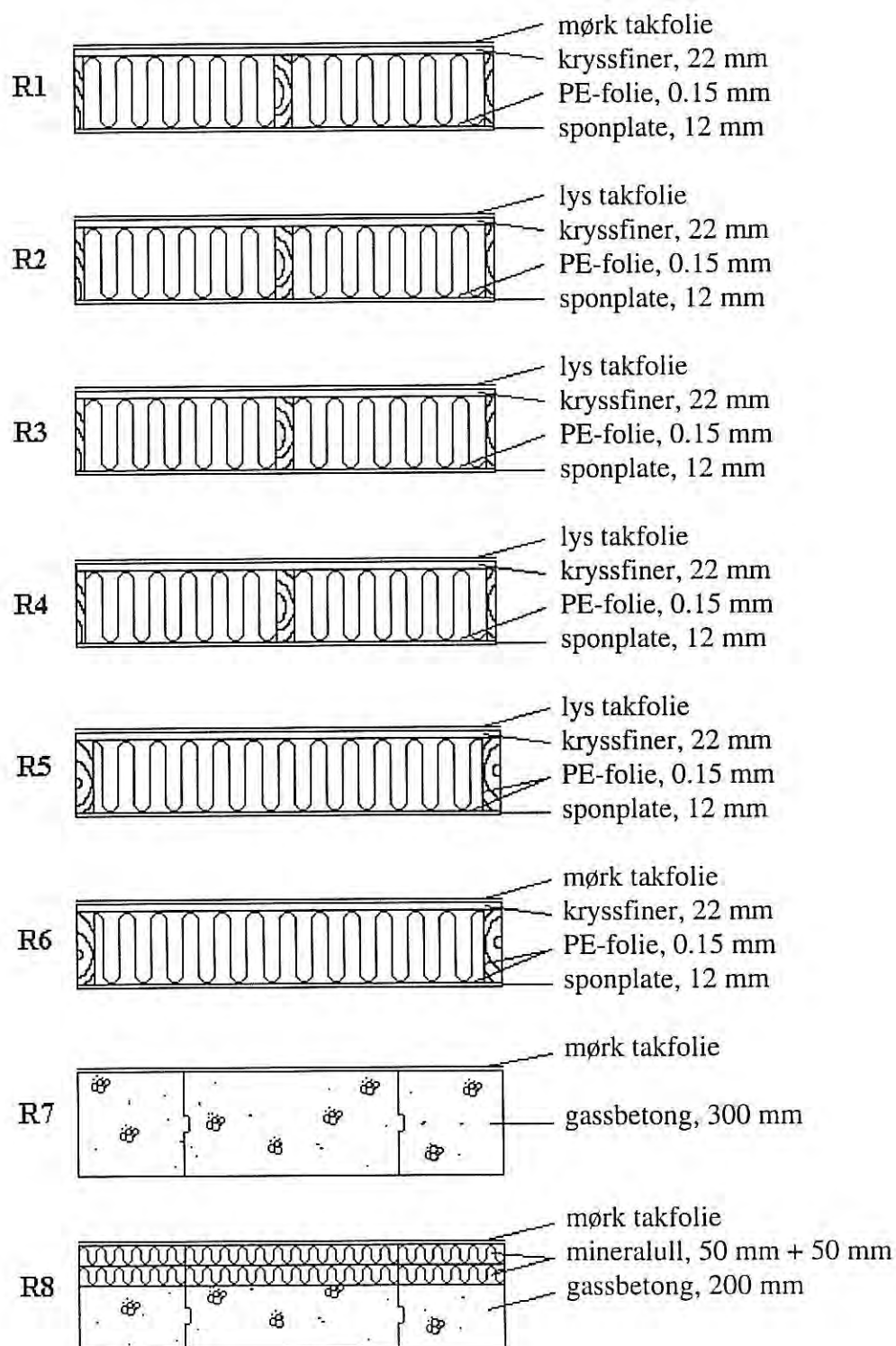
Snitt av veggelementer, fasade mot vest, forsøkshus på Voll i Trondheim, 1994 – 1998

Oppbygging av østvegg-elementene



Figur 4  
 Snitt av veggelementer, fasade mot øst, forsøkshus på Voll i Trondheim, 1994 – 1998

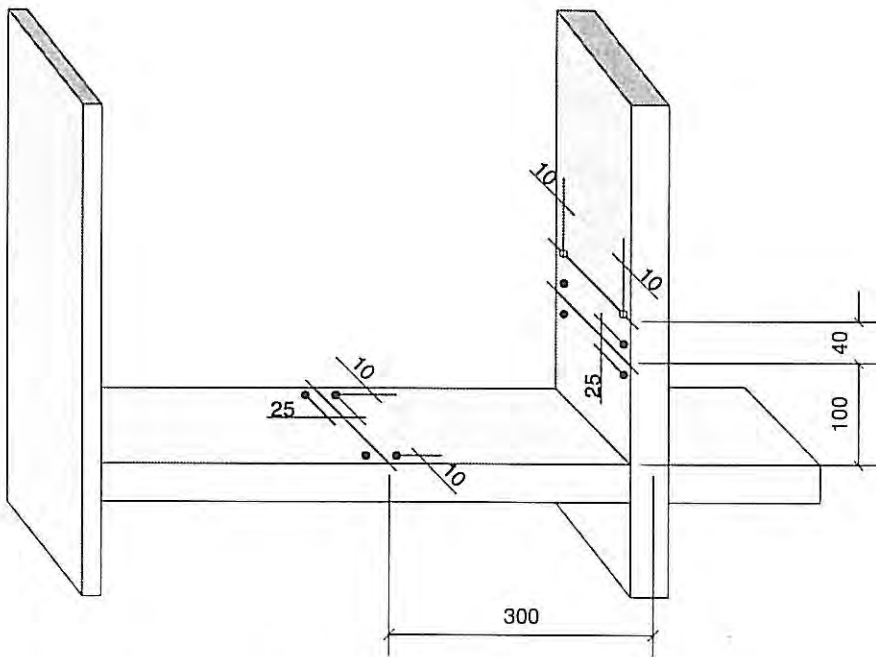
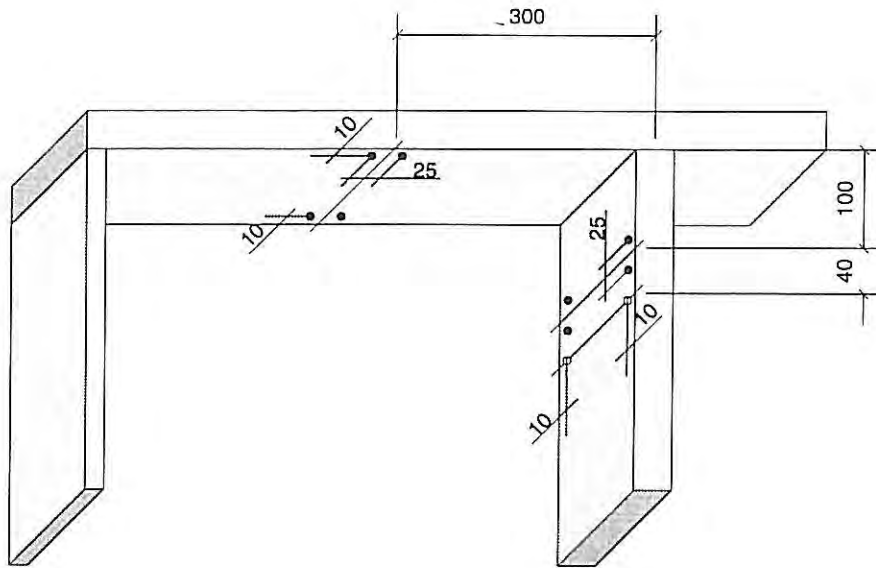
Oppbygging av takelementene



Figur 5

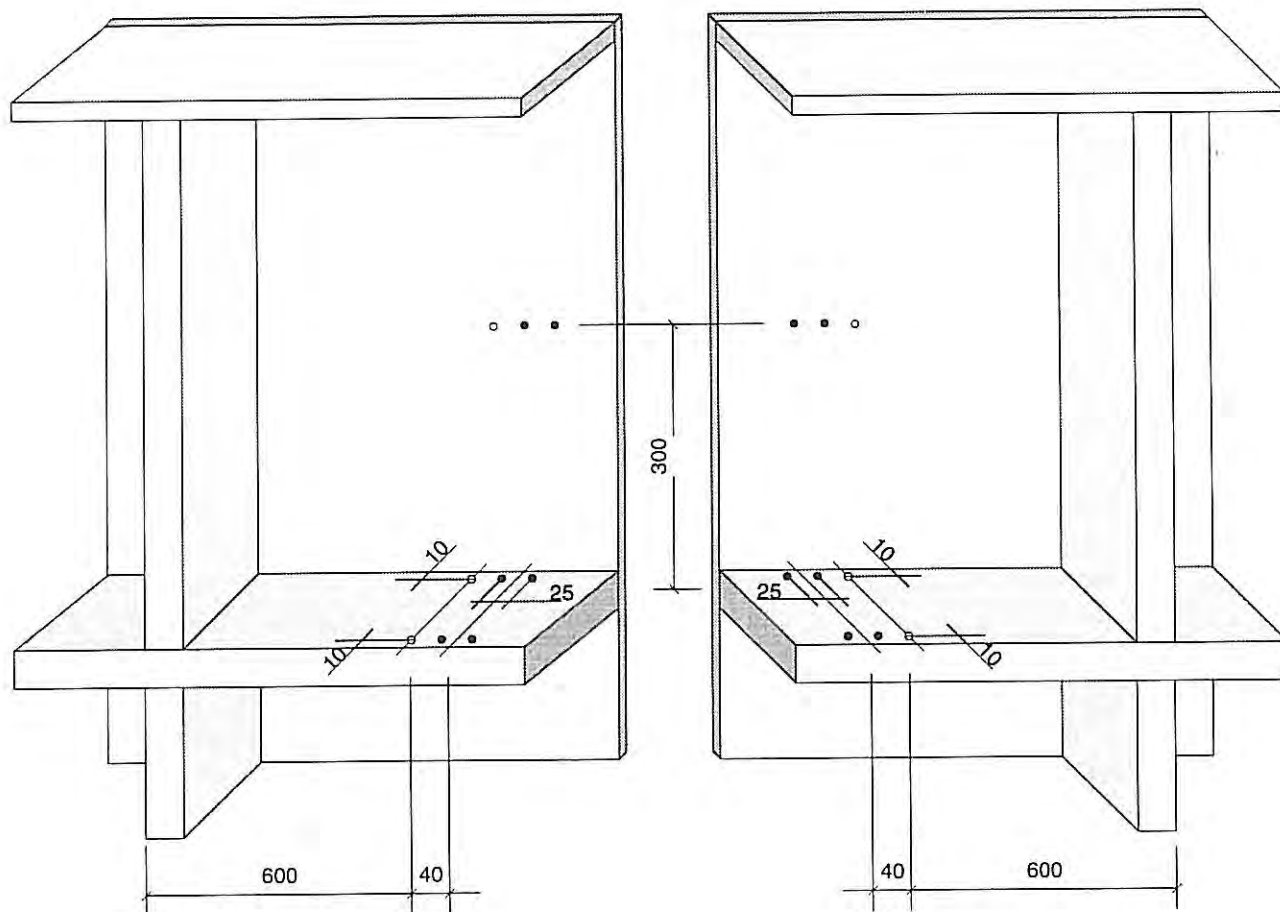
Snitt av takelementer, forsøkshus på Voll i Trondheim, 1994 – 1998. Alle elementene av bindingsverk er isolert med 200 mm mineralull.





- Elektroder for fuktmåling på varm og kald side av bindingsverket
- Termoelementer på varm og kald side av bindingsverket

*Figur 6  
Tegninger som viser plassering av følere i veggelementene*



- • Elektroder for fuktmåling i bindingsverk og kryssfiner taktro
- Termoelement i bindingsverk og kryssfiner taktro

*Figur 7*  
*Tegninger som viser plassering av følere i takelementene*

Sammendrag av doktor ingeniørarbeid

NTNU Trondheim

Institutt for bygg- og anleggsteknikk

Våren 1998

## **MOISTURE TRANSFER IN POROUS BUILDING MATERIALS AND ORGANIC COATINGS**

### **The effect of varying environmental conditions**

av

Marit Støre

---

#### **ABSTRACT**

The scope of this thesis was to study the moisture transfer through coated substrates and the effect of varying environmental conditions, and to study the moisture performance of exterior coated materials. The purpose was to increase the knowledge in order to better understand how moisture and other important environmental factors affects the durability and the service-life of coated substrates.

This was approached through a literature study, a comprehensive experimental investigation and a prediction of the moisture performance of two coated wall constructions. The investigation was divided into the following tasks:

- Investigation of the deterioration mechanisms involved in organic coatings, Norway spruce (*Picea abies*) and two types of masonry plaster were studied when exposed to the outdoor environment.
- Presentation of a review of the actual critical performance criteria for the different materials.
- Study of the theoretical formulation of water permeation in porous materials and organic coatings, and the need of quantifying their transport properties and dependency of other factors.
- Evaluation of different measuring methods and techniques according to their accuracy in determining the necessary material properties.
- Conduction of comprehensive experimental investigations, both in the hygroscopic and the capillary regime, in order to establish necessary material properties and their dependency of relative humidity and temperature.
- Prediction of the moisture performance of two commonly coated wall constructions in severe climates, by using an existing heat and moisture calculation model as analysing tool.

### **Degradation mechanisms and performance criteria**

Increasing focus on the durability aspects of buildings and materials as well as increasing air pollution requires better understanding of the performance of exterior coated materials facing the outdoor climate. Several factors affect the deterioration of a material. However, UV exposure from the sun light, excessive moisture and large temperature variations are considered to be the most important ones.

The important degradation's of the substrates affected by these factors, are wood rot decay, frost damages and carbonation of rendering and concrete substrates. The coatings are often subjected to deterioration's as mould growth on the surface, blistering, chalking, cracking or peeling as well as loss of adhesion to the substrate due to disintegration of the film. Acrylic coatings are found to be more durable against disintegration due to UV than oil/alkyd coatings.

These mechanisms and their influencing factors are quite well known for wood and plaster substrates. Never the less, there is a lack of knowledge of the critical loads of these factors to these materials. However, an overview of existing performance criteria is presented and actual performance criteria are suggested for use in moisture performance analyses of commonly coated exterior wall constructions.

### **Theoretical formulation of water permeation in porous building materials and organic coatings**

Theoretical formulation of the moisture transfer in coated substrates found in the literature is written at a general form as follows:

$$\text{Flux} = -\text{Transport property} \times \text{grad (Potential)}$$

where the flux of a penetrant through a material is proportional to the transport property of the penetrant through that material times the gradient of the driving force (potential).

For a non-porous material the flow of the penetrant is considered molecular and the transport process is a result of the phenomena *solubility and diffusion*.

For most porous building material the transport process mainly is viscous, which can take place in the *vapour or liquid phase* or as a combination of both.

### **Materials, methods and experimental investigation**

The results of the experimental investigations have given a valuable contribution as input to heat and moisture transfer models for use in moisture performance analyses.

The substrates studied in this thesis were Norway spruce (*Picea abies*) and two kinds of masonry cement mortars, one lime cement mortar (LC) and one cement mortar (standard Portland Cement (M)). Totally, two primers and six coatings were studied. Three water-borne acrylic latexes together with a solvent-borne primer were investigated as wood coatings. As plaster mortar coatings, three different coatings were investigated, one pliolite paint (thermo-plastic binder in a solvent of naphtalene/xylene) with primer, one silicone emulsion and one pigmented cement paint.

An extensive measuring program was conducted, to measure actual material properties both of the substrates, the free coating films and the combined coated materials.

Measurements of vapour permeability, expressed as a function of relative humidity (RH), water uptake and sorption isotherms were conducted for both the substrates and the coatings. In addition to this, several coating properties like glass transition temperature, surface tension and contact angle measurements were conducted for all the six paint films. Also the solubility and the diffusion coefficients were determined for all the free paint films, by using the sorption method.

The vapour and liquid diffusion measurements for coatings and substrates were conducted by the well-known cup-method. A new technique was developed in order to calculate the diffusion coefficient of the free films in a way that eliminated the vapour resistance of the surface-air layer. This was successfully done by conducting measurements on free paint films at two different thickness' and calculating the vapour diffusion resistance by the difference of the two film thickness'. The cup-method is found to be a simple and time-saving method with low costs, giving acceptable accuracy when care is shown.

The vapour permeability curve for the coatings and the spruce substrate showed an exponential increase with RH when exceeding a RH of 60 %. At 90 % RH the vapour permeability value increased more than hundred times than at 60 % RH. For the plaster mortars, when the RH exceeded 80 %, a very slight increase of the vapour permeability was shown. The sorption isotherms of the non-porous acrylic latexes showed surprisingly that the coatings adsorbed more than 4 % moisture (dry weight basis) at a relative humidity above 90 %.

The liquid permeability found as the product of the diffusion ( $D_l$ ) and the solubility ( $S$ ) coefficient, was determined by the sorption method. Also, the liquid permeability was found by measuring the water transfer rate through the paint film by an inverted cup. By comparing the two methods, the sorption and the inverted cup-methods, the liquid permeability coefficients (100 % RH) of the acrylic coatings were found to be several orders of magnitude less than the value from the inverted cup, whereas the permeability of the silicon emulsion was found to be five times less than the value of the inverted cup. The sorption method had been successfully used by several researchers and found to give very accurate results. Sources of error when using the inverted cup, like leakage through the sealing of the cup and the ignorance of the surface resistance of the coating film might explain the deviations.

Capillary water absorption coefficients ( $A_{w24h}$ ) were measured by partial immersion in water for the pure substrates and the combined coated substrates. The coefficients were measured on Norway spruce panel boards in radial direction, with densities of 400 and 460 kg/m<sup>3</sup>, giving an  $A_{w24h}$  value of 0.146 and 0.156 kg/m<sup>2</sup>·√s, respectively. By applying an acrylic coating to the spruce, the  $A_{w24h}$  value was found to be 0.0004 kg/m<sup>2</sup>·√s, which is 0.2 % of the spruce value.

The  $A_{w24h}$  value of the M and LC mortars were found to be 0.0032 and 0.0056 kg/m<sup>2</sup>·√s, respectively. By applying silicon emulsion or pliolite to the M mortar, the mean  $A_{w24h}$  values of the coated substrates were found to be approximately 20 % less than when not coated. The effect of leaching of the surfactants within the coatings was studied by immersing the films into distilled water and measuring the water uptake before and after leaching. This led to a remarkable reduction of both the diffusion and the solubility coefficient, and secondly the permeability coefficient.

The microstructure of the mortar types was investigated by scanning electron microscopy (SEM). This was shown to be a powerful tool to measure the porosity, the pore size distribution of the materials and to imaging the microstructure at magnifications of several thousands. Paint film thickness and penetration depth could also be analysed.

Based on the 2-D images from the SEM it was possible to establish a model as a representation of the microstructure of the cement mortar, by using a surface curvature algorithm that resulted in a 3-D image with the same porosity and specific surface as the 2-D image. The relative vapour diffusivity of the cement paste could then be calculated by a computer model using the reconstructed 2-D microstructure image as an input to an algorithm based on a Nernst-Einstein relation. The overall diffusivity of the cement mortar could then be utilised in the higher scale model and the overall relative diffusivity could be computed. The calculated diffusion coefficient for the lime-cement mortar agreed very well with the experimental value determined by the cup-method, whereas the vapour diffusivity for the



regular mortar cement was found to be three times the experimental value. However, this technique was found to be very useful, giving valuable information of the microstructure and estimates of the transport properties of the material.

### Moisture performance analysis

Two common exterior coated wall constructions were analysed, by using the material properties found in the experimental investigation. The analysis was done at several coastal climates varying from extreme severe to normal, by using the heat and moisture transfer model WUFI (Künzel, 1995). The numerical simulation of spruce panels with acrylic latex exposed to an extreme severe climate was compared to real field measurements that were conducted on a test house. Except for the summer period, fairly good agreements were found between the calculated and measured average moisture content of the painted spruce panels, giving the correlation coefficient  $r (n=365) = 0.529$  that is significant at a 0.1 % level. The time of wetness is calculated for two building envelopes exposed to severe climates, using the following performance criteria where the moisture content and relative humidity are measured in the substrates:

Materials	Performance criteria as Time of wetness (TOW)
Coated wood	$TOW_{wood} = \sum \text{Exposure time when } u > 20 \% \text{ and } T > 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Plaster	$TOW_{plaster} = \sum \text{Exposure time when } RH > 95 \% \text{ and } T > 0 \text{ }^\circ\text{C}$

### References

Künzel, Hartwig M. 1995. Simultaneous heat and moisture transport in building components, One- and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag, Stuttgart, Germany.

Sammendrag av doktor ingeniørarbeid

NTNU Trondheim  
Institutt for bygg og anleggsteknikk

## CONVECTION IN HIGHLY INSULATED BUILDING STRUCTURES

av  
Øyvind Økland

---

### ABSTRACT

In the thesis a study was made of the influence of natural and forced convection on the performance of highly insulated building structures. The work has been focused on how convection contribute to accumulation of moisture in building materials. Effects of convection on temperature distribution and heat transfer have also been discussed.

The air balance of a two - storey building influenced by real climate has been investigated using a network model called COMIS (Feustel and Smith 1995). The calculations showed that the roof structure had largest total annual condensation compared to other building envelopes. A statistical model has been developed to study the statistical effects of workmanship and climate influence on moisture condensation in a roof structure. These investigations clearly showed the importance of decreasing the moisture supply indoors. The climate parameters seemed to be most important compared to the distribution of different defects. The safety factor for moisture accumulation was, however, dependant on the ventilation of the cold attic.

Measurements have been performed both in climate room and in a test-house to study the effects of forced convection on walls. In these measurements air-leakages were located at the bottom of the warm side and at the top of the cold side. The measurements in climate rooms showed a moisture accumulation in the upper and lower parts of the insulation cavity. Measurements of moisture content in wood members in the test-house wall showed no significant difference in moisture accumulation compared to wall systems that did not have air-leakages. This seemed to be due to small pressure differences generated by the Trondheim climate and that the total air-leakages of the test-house were large.

Measurements in climate rooms have been performed to investigate the effect of natural convection on walls with a high amount of built in moisture and with air space defects in the insulation cavity. The moisture content measurements were not accurate enough to give any clear indications of the natural convection effects alone, which was shown from the later simulations. The measured temperature profiles did clearly show that the wall systems were influenced by natural convection. Good agreement was found between the measurements and

simulation results with the state of the art simulation program LATENITE (Karagiozis and Salonvara 1994).

Simulations have been carried out with LATENITE to investigate the effect of natural convection on moisture content. This have been done by comparing simulations with and without the influence of natural convection at the end of the measurements (after 54 days). Natural convection influenced the hygrothermal performance of walls with air space defects significantly more than for a perfect insulated wall systems and the maximum effect was found for the wall with 20 mm air gap at both sides of insulation. Maximum moisture content in spruce was 15 % (0.03 weight %) higher than without convection and local moisture content in insulation was 20 times higher than without convection for this wall.

Additional simulations showed that the natural convection effects on moisture content were dependant on the initial moisture content. A vertical convection barrier clearly reduced the natural convection effect on heat transfer and moisture content. The simulations showed that vertical barriers should not be used for structures with a high moisture content at warm side. The convection effects were also clearly dependent on the air permeability of the insulation used.

A two-dimensional model has been developed to simulate heat, air and moisture transfer. The simulations of moisture content and temperatures with this computer program was similar to that found in the measurements. The calculation results indicated that the airflow in the air space defects was circulating. Similar circulation was not found in the LATENITE simulations. The hygrothermal natural convection effect with an air break was also larger than for vertical air gaps, which also have been found by measurements. These effects were not found with computer programs as LATENITE and CHConP (Hagentoft and Serkitjis 1995). The numerical method of simulations performed by the developed model was, however, very time consuming and could hardly be included in annual simulations of moisture effects with today's computer equipment.

## References

Feustel H.E. and Smith, B.V. 1995. COMIS 2.1 User's Guide. Berkley, California.

Hagentoft, C.E. and Serkitjis, M. 1995. Simplified simulation models for natural and forced convection in porous media, Int. Symposium on moisture problems in building walls, Porto - Portugal, pp. 339-350. R-95:8. CTH, Department of Building Physics. Göteborg, Sweden.

Karagiozis, A.N. and Salonvaara. 1994. Hygrothermal behaviour of a brick cavity wall. Part B: Parametric study of a material properties using stochastic modelling. IEA Annex 24 HAMTIE. Document T1-CA-94/02.

Sammendrag av doktor ingeniøravhandling

NTNU Trondheim  
Institutt for bygg- og anleggsteknikk  
Februar 1998

## HYGROSCOPIC MOISTURE TRANSPORT IN WOOD

av  
Berit Time

---

### ABSTRACT

Spruce together with pine are the main wooden building materials used in Norway. Due to the complex composition of the material and the many-sided usage, there still are many unanswered questions concerning moisture transport in wood in buildings. Wood and wooden materials in buildings are exposed to diurnal and annual climatic cycles. Uncertainties concerning transient wood-water relations in buildings and building components have demanded a more thorough investigation on basic moisture transport in wood and related properties. This thesis is a result of a comprehensive study on hygroscopic moisture transport in wood in general and spruce (*Picea abies*) in particular. The themes focused in this thesis can be divided into three parts.

#### **Moisture related material properties**

In the first part, a thorough study of present knowledge of moisture sorption and moisture transport in wood have been conducted. Material properties have also been measured and investigated in this part. It has been shown that diffusion coefficients,  $D_p$ , determined from cup measurements are increasing with an increasing average relative humidity across a wooden specimen. It has also been confirmed that if diffusion coefficients,  $D_C$ , determined from transient sorption measurements are to be converted to  $D_p$ , significant variations in diffusion coefficients can be obtained depending on the parameters included in the conversion factor. Absorption and desorption isotherms of spruce (*Picea abies*) measured in this work have been compared with corresponding measurements on spruce performed in other Nordic countries, and significant deviations have been found.

#### **Wood exposed to cyclic changes in relative humidity**

In the second and main part of this thesis, experimental investigations on wood exposed to cyclic step-changes in climatic conditions have been performed. Two different sets of experiments have been performed. In the main set of experiments an experimental apparatus has been designed and set up in the laboratory at the department. Well known principles for measurement of moisture sorption in wood have been employed. As there is a demand for less labour intensive and more efficient methods for measuring moisture sorption in wood, another



set of experiments has been conducted in the laboratory at Department of Chemical and Process Engineering (CAPE), University of Canterbury, New Zealand. In these experiments another, more efficient, principle of measurement, originally meant for drying experiments, has been employed and assessed for measuring moisture sorption in wood.

The results from four different measurement series, conducted at the department, with diurnal and weekly cycles between two different levels have been reported. A two-step sorption process has been observed with the major change in moisture content in the first fast initial part. No significant phase lag has been observed for neither transverse nor longitudinal specimens up to 10 mm thickness. A repetitive pattern in moisture content change is found for both weekly and daily changes. The same level of moisture content is reached in both absorption and desorption every cycle. Although average moisture contents have been measured only, the fast response in moisture sorption indicates that significant moisture gradients are present immediately after a relatively large change in surrounding humidity.

The results from four different sorption experiments, conducted at CAPE, have indicated the presence of the same two-step sorption process, with the major change in moisture content within the first fast initial part of sorption. The specimens in these experiments were exposed to time gradients in both temperature and relative humidity. The overall impression from these experiments is that the apparent «equilibrium» moisture contents are rather high for all temperature and humidity levels. The reason for this has not been possible to fully explain. However, weaknesses in the principle of measurement have been revealed.

### **Modelling of moisture transport and hysteresis**

In the third part of this thesis, a one-dimensional transient model for moisture transport in wood is set up. The model is based on Fick's law with water vapour pressure and temperature as driving potentials. A model for hysteresis has been proposed and included in the model. Comparisons between the experimental results obtained in this work and calculations have been done. The level of the absorption and the desorption isotherm is the most important parameter in order to obtain good fit between measurements and calculations. A better agreement is found if hysteresis is taken into account, compared to calculations were only an average sorption isotherm is used. It is also found that the diffusion coefficient and its dependency on RH and the density of the wood have a certain influence on the sorption rate. The convection mass transfer coefficient on the other side has very little influence on the average moisture content.

As an approach to modelling moisture transport in wood exposed to cyclic environmental changes in the hygroscopic range, the model has proved promising. The shape of the measured and the calculated curves presented in this work correspond very well. This could imply that application of linear intermediate curves, based on empirical data, could be a suitable way of modelling hysteresis in wood.



Sammendrag av doktor ingeniøravhandling

NTNU Trondheim

Institutt for bygg- og anleggsteknikk

Juni 1997

## MOISTURE DESIGN OF BUILDING CONSTRUCTIONS

### Hygrothermal analysis using simulation models

av

Stig Geving

---

#### ABSTRACT

The thesis presents a comprehensive study on how HAM-models best should be employed in hygrothermal analysis of building constructions. This is done through investigations on how input data (e.g., outdoor climate, indoor climate and material properties) should be chosen and used, and through development of methods and concepts for practical hygrothermal analysis using HAM-models. The applicability of HAM-models on a few «real world» problems are also tested.

#### Input data for HAM-models

Two methods for selecting representative weather data for moisture design calculations (MDRY) for a specific location are presented. The basic methodology upon which the first method is based uses the moisture conditions within a few well defined constructions as criteria to select a MDRY with a return period of approximately 10 years. The advantages with this method are many. Selecting a series of real climatic data for one year means that requirements such as true sequences, true frequencies and true correlations are fulfilled. The use of several different constructions in the selection process implies that the varying climatic effects on different types of constructions are accounted for. There are however several limitations with this method, one limitation is that the method is laborious and time consuming. The second method is however a simplification of the first method. This simplified method is quick and easy to use, and only annual mean meteorological parameters are needed for the selection process.

A study of the effect of averaging of climatic data is also presented. One general conclusion from that study is that using average values (e.g., daily or monthly averages) for the climatic data might lead to wrong results for the moisture conditions in a construction. When the solar radiation is important for the construction the time increment should be as short as possible, preferably using hourly values. However, monthly averaged climatic data will in some cases

give a relatively good description of the moisture behaviour of the construction, although the drying effect of the solar radiation will probably be somewhat underestimated.

An investigation of the influence of indoor air humidity on the hygrothermal conditions of building constructions is presented. The results suggest that an advanced modelling of the indoor air humidity, so as to get the most correct description on an hourly, daily or weekly basis of the indoor boundary conditions for hygrothermal simulations of building constructions, is not necessary in most cases. The use of statistical summaries of data such as moisture supply and indoor air RH measured in specific building types is probably the most important aspect of defining the indoor climate, i.e., finding the correct level and possible range of variation of indoor climate parameters such as moisture supply, moisture generation, ventilation rate and air temperature.

A study of the effects of relative variations of material properties on hygrothermal simulations is presented. The results show that material properties that are not accurately determined can lead to erroneous simulation results. On the other hand it is also shown that some properties for some material layers under special circumstances do not need to be determined accurately. In general important material layers, such as a layer that is to be evaluated on durability aspects, should have most of its hygric material properties defined as precise as possible. An investigation of the effects of simplifications of some material properties regarding the functional dependence of moisture content or relative humidity, is also presented. The results indicate that simplifications of material properties such as vapour permeability and sorption isotherms are possible without unacceptable loss of accuracy.

### **Comparison of measurements and simulations**

Several studies comparing experimental and simulated data for the hygrothermal conditions in wood frame constructions are presented. The studies clearly indicate the danger of relying upon measurements alone when evaluating the durability performance of a building construction. Even when measurements are carefully carried out, critical locations with high moisture contents might not be discovered by the measurement sensors. On the other hand, if measurements are combined with model simulations that include all the necessary physics we have a very powerful way of assessing the hygrothermal conditions within a building structure.

In any wood frame wall with low density batt insulation built with an acceptable level of workmanship, air gaps will usually be present at the material interfaces. The results from these investigations indicate that omitting these sub-system influences when analysing the moisture performance of a building envelope system can lead to seriously wrong results. It was furthermore demonstrated that two-dimensional HAM-models that include all appropriate physics (vapour-, liquid- and air flow) can predict the hygrothermal conditions for frame walls with reasonable accuracy. However, the results from HAM-simulations should always be used with caution, since factors such as wrong input parameters, statistical variation of input parameters or effects that are not included (e.g., 3-D effects and non-idealities) may give wrong or misleading results and conclusions.

### **Systematic methods for HAM-analysis using computer tools**

A general method for how HAM-models best should be employed in hygrothermal analysis of building constructions is proposed. The method is closely based on experiences and information documented in this thesis. The method described is meant to be a general method, i.e., it might be used for very different purposes such as the design of a new construction at a specific location or evaluation of measurements by the use of HAM-tools. The method contains four main components; 1) *Problem definition*, 2) *Simulation set-up and input parameters*, 3) *HAM-simulations* and 4) *Analysis of hygrothermal performance*.

In addition to this method several proposals are made for other concepts and methods intended to enhance the reliability of hygrothermal analysis by the use of simulation tools. A classification system for HAM-models is proposed. This classification system can be of help when identifying the limitations of a model and when choosing a HAM-model for a particular simulation case. In addition general requirements for practical computer tools are summarised. This may be of help for developers of practical HAM-models and when choosing the best HAM-model for a hygrothermal analysis. Furthermore, methods for deterministic and probabilistic moisture design are discussed, and a concept for different types of performance criteria is proposed.

# GOLV PÅ GRUNNEN

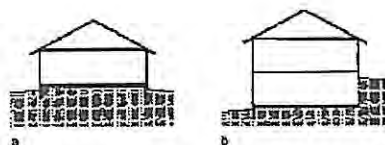
Siviling, Svein Erik Torgersen

## 1 ANBEFALTE PRINSIPPLØSNINGER

### Bygninger og drenering

Bygninger kan ha golv på grunnen, der golvet i sin helhet ligger over terrengnivå, se figur 1 a. Alternativt kan huset ha underetasje, se figur 1 b, eller kjeller.

Hvis hele golvkonstruksjonen ligger over terrengnivået, er det vanligvis ikke nødvendig med drensledning rundt huset. På områder med spesielt høy grunnvannsstand bør man imidlertid sørge for områdedrenering eller andre tiltak for å holde grunnvannsstanden godt nede under fundamenteringsnivået.



Figur 1 Bygninger med golv på terrengnivå og bygning med underetasje

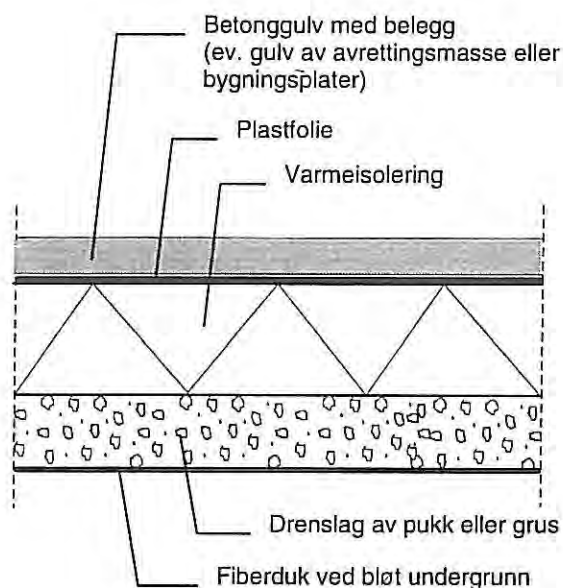
### Fuktsikring av golvkonstruksjonen

Golv på grunnen bør varmeisolerers på undersiden. Se figur 2.

For dampette, fuktfølsomme belegg anbefales isolasjon under hele golvet. Isolasjonsplater av polystyren og trykkfast mineralull virker som et kapillærbrytende lag mot fukt fra grunnen. Slike plater er langt mer pålitelige enn lag av steinmaterialer, som ofte inneholder betydelige mengder med finstoff.

Under isolasjonen er det tilstrekkelig å legge et drenerende lag. Dette laget bør være minst 100 mm tykt, og bør for drenerte golv bestå av finpukk. Der golvet i sin helhet ligger over terrengnivå, kan også grus eller grov sand benyttes.

Golvisolasjon av fuktbeskyttet lettklinker med kornstørrelse 10 – 20 mm har både kapillærbrytende og drenerende funksjon.



Figur 2 Golv på grunnen med underliggende isolering gir best sikring mot fukt fra grunnen.

For å beskytte golvkonstruksjonen mot fukt i form av vanndamp fra grunnen er det to prinsipper.

Det ene prinsippet er basert på at det er en temperaturforskjell over konstruksjonen, dvs. at gulvet alltid har høyere temperatur enn grunnen under isolasjonslaget. Dette medfører at betonggulvet ikke fuktes opp nedenfra.

Det andre prinsippet er å legge inn en dampsperre i gulvet, f.eks. 0,2 mm plastfolie slik at golvkonstruksjonen på oversiden av plastfolien blir fuktsikker i seg selv, og ikke avhengig av en temperaturforskjell.

Dersom temperaturforskjellen i et golv på grunnen uten plastfolie forsvinner eller går motsatt vei, er det risiko for oppfukning av gulvet og fuktskader på golvbelegg pga. oppadrettet vanndamptransport.

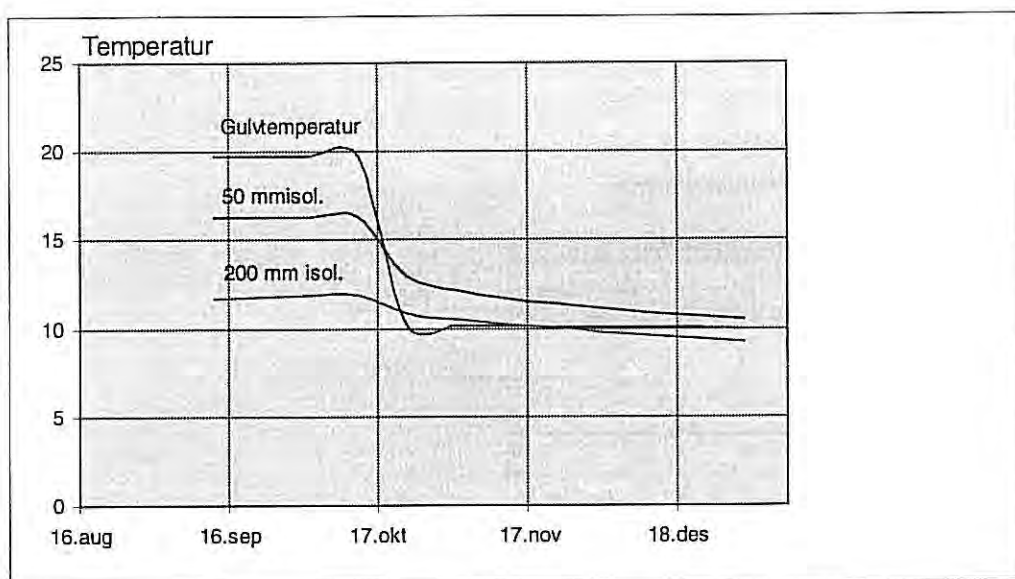
Følgende forhold kan være kritiske:

- indre deler av golv i brede bygninger
- golv i naborom med store temperaturforskjeller
- uregelmessig bruk av varmekabler i golv
- fjernvarmeledninger under golv
- bygninger eller deler av bygninger som står i lengre tid med liten oppvarming

Figur 3 viser eksempel på et småhus som en vinter bare holdes oppvarmet til 10°C. Figuren viser at temperaturen i grunnen under isolasjonen midt under huset da vil bli høyere enn



golvtemperaturen. Det oppstår en oppadrettet temperaturgradient og dermed også en oppadrettet vanddamptransport. Tykk golvisolasjon er gunstigere enn tynn. For brede bygninger er forholdene langt mer kritiske, fordi temperaturen under isolasjonen er høyere.



Figur 3 Golv på grunnen. Golvtemperatur og temperatur under 50 og 200 mm golvisolasjon ved temperatursenkning om vinteren. Midt under småhus

Tekniske forskrift 1997 innebærer kraftig økning i golvisolasjonen. Økt isolasjon er gunstig for fuktsikringen av golvet. NBI vil likevel fortsatt anbefale dampspærre i golv på grunnen.

Dampspærren bør normalt legges oppå varmeisoleringen. Plastfolie som legges under isoleringen, kan medføre betydelig ansamling av fukt i isolasjonssjiktet. Fukten kan komme fra nedbør og eventuelt støpevann i perioden fra folien er lagt til golvet er ferdig støpt. Der det er fjernvarmeledninger under golv, bør det imidlertid også legges plastfolie *under* golvisolasjonen.

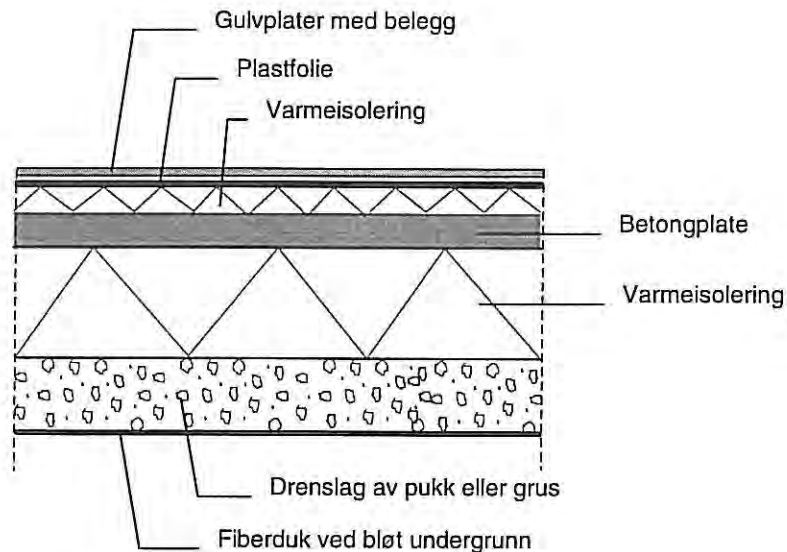
Plastfoliens innvirkning på uttørkingstiden for betonggolvet før legging av belegg, er ubetydelig i golv med isolasjon av polystyren. Polystyrenisolasjon er så damptett at uttørkingen nedover blir minimal.

Ved bløt undergrunn eller ved meget siltige jordarter legges det et separasjonslag av fiberduk mellom det drenerende laget og undergrunnen.

På figur 4 er det vist en golvkonstruksjon der mesteparten av isolasjonen ligger på undersiden av betongplaten. Opppå betonggolvet er det lagt et isolert golv, som enten kan være flytende golv av golvplater på bærende isolasjon, eller tilfarergolv med mineralull. Plastfolien legges under golvplatene (vist på figuren) eller på betongen (tilfarergolv). Konstruksjonen gir god beskyttelse mot fukt fra grunnen, og risikoen for problemer med byggefukt eller nedbør i



byggeperioden er minimal. Betongplaten vil med tiden bli tørrere. Golvet sikrer god komfort, da tynne vinylbelegg på betong verken er varmebehagelig eller spesielt godt å gå på.



Figur 4 *Golv på grunnen med underliggende isolasjon og med komfortisolasjon på oversiden*

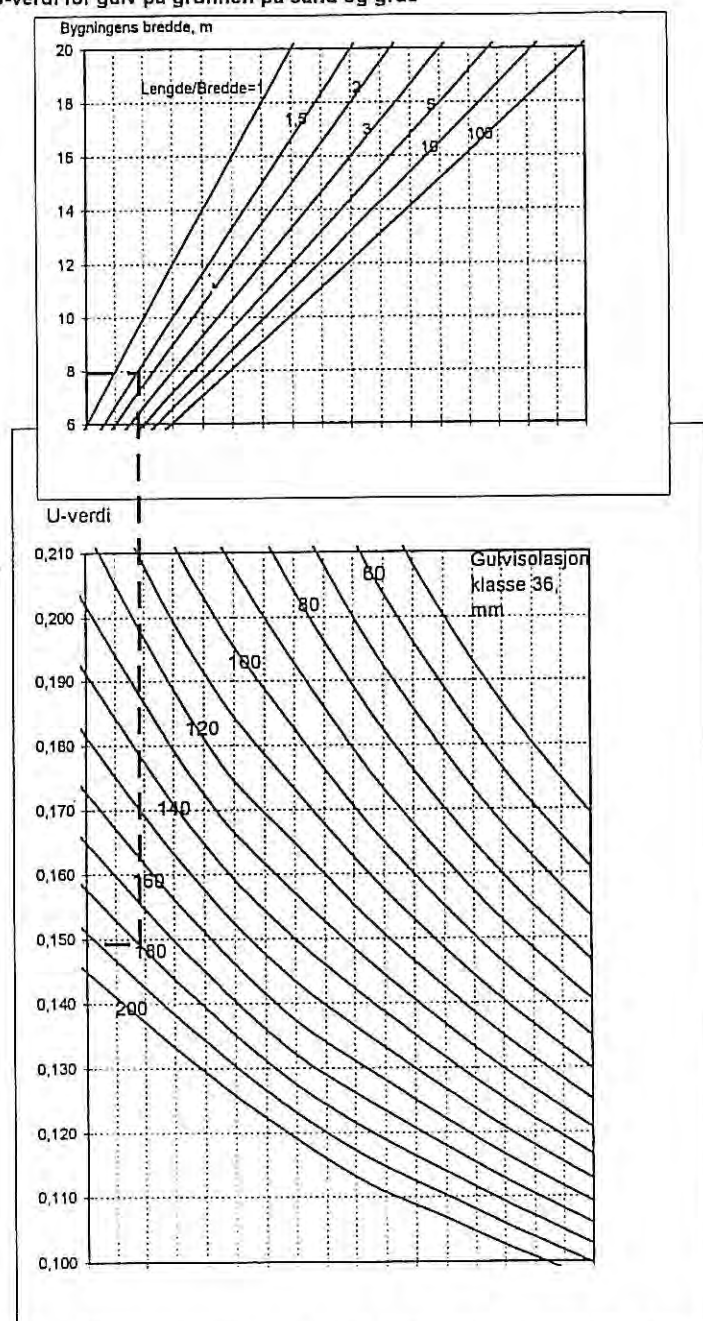
#### **Tekniske forskrifter 1997. Varmeisolering**

Kravet til U-verdi for golv på grunnen er senket fra  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  til  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  i bygninger som varmes opp til  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  eller mer. Kravet betyr i praksis at golvisolasjonen økes fra  $50 - 80 \text{ mm}$  til  $150 - 200 \text{ mm}$ . Kravet gjelder nå kun golvets gjennomsnittlige U-verdi. Det betyr at isolasjonstykkelsen for å oppnå en gitt U-verdi er avhengig av bygningens størrelse og utforming. Figur 5 viser eksempel på dimensjoneringsdiagram, basert på prEN 1190 (foreløpig utgave), som er ny standard for å beregne varmetap mot grunnen. Standarden angir tre forskjellige grunnforhold:

1. Leire ( $\lambda$ -verdi  $1,5 \text{ W}/(\text{mK})$ )
2. Sand og grus ( $\lambda$ -verdi  $2,0 \text{ W}/(\text{mK})$ )
3. Fjell ( $\lambda$ -verdi  $3,5 \text{ W}/(\text{mK})$ )

Det er naturlig å bruke nr. 2 for andre grunnforhold enn ren leire og fjell. Figur 5 gjelder for grunnforhold nr. 2. Dimensjoneringsdiagram for alle tre grunnforhold vil bli gitt i Byggdetaljer 521.112 for golv på grunnen (planlagt 98).

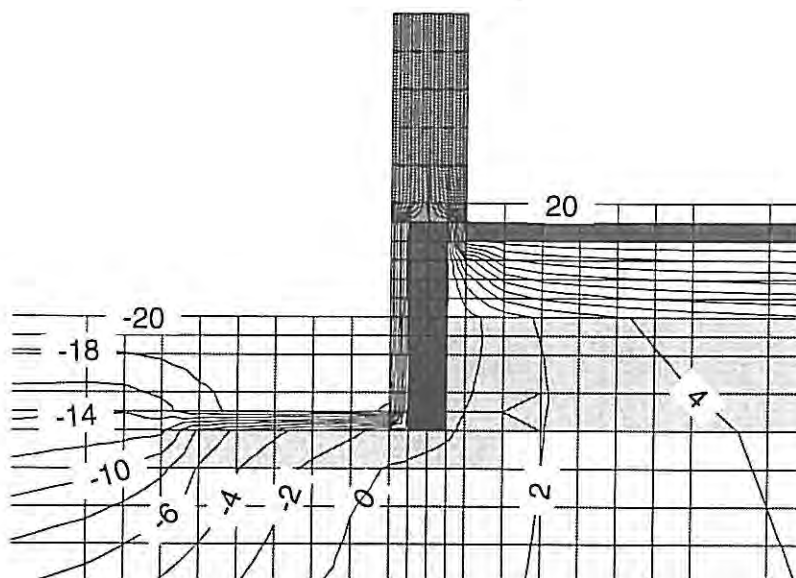
### U-verdi for gulv på grunnen på sand og grus



Figur 5 Gjennomsnittlig U-verdi og isolasjonstykkelser for gulv på grunnen, avhengig av bygningens bredde og lengde-/breddeforhold. Jordart: Sand og grus

### Frostsikring

Når varmetapet gjennom gulv på grunnen omtrent blir halvert ved de nye kravene til varmeisolerings, innebærer det en mer omfattende frostsikring av ringmuren med isolasjon ved telefarlig grunn. Til nå har har NBI anvist at ringmurer kan utføres uten horisontal markisolering i grunnen på utsiden når maksimal frostmengde er lavere enn 30 000 h°C, dvs. klima tilsvarende Gardermoen. Rundt 80 % av bebygde områder i Norge ligger innenfor dette. Med de nye kravene til varmeisolerings i golvet vil NBI anbefale markisolering generelt på telefarlig grunn. Nødvendige bredder og tykkelser vil bli angitt i Byggdetaljer 521.112 (planlagt 98). Eksempel på resultat fra beregning av frostisolering er vist på figur 6.



Figur 6 Eksempel på beregningsresultat. Maksimal frostnedtrengning ved frostmengde 25 000 h°C og laveste 3-døgnsmiddel -20 °C

## 2 VANLIGE FEIL

- fuktskader på tette belegg som legges før betongen er tilstrekkelig tørr
- fuktskader på tette belegg som legges på uisolert betonggulv (f.eks. innredning av kjellere)
- vann på plastfolie som er lagt under isolasjonen

## 3 RESULTATER FRA PROSJEKTER

### Klimadata for fuktberegninger. Temperaturer under golv på grunnen

Varme- og fuktforholdene i konstruksjoner mot grunnen er svært kompliserte og dermed også vanskelig å beregne. Forholdene er tredimensjonale og tidsavhengige. En rekke materialparametre og randbetingelser inngår.

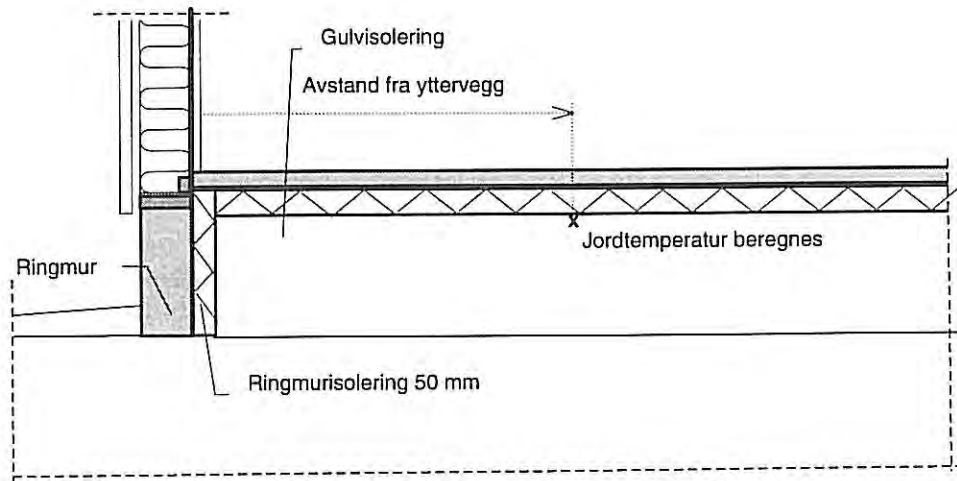
Mange har kun hatt tilgang til endimensjonale beregningsprogrammer av typen MATCH, som kan utføre tidsavhengige beregninger av fukt- og varmetransport.

Beregning av konstruksjoner mot grunnen med slike endimensjonale programmer kan gjøres dersom man kjenner temperaturvariasjonen i jorda under golvkonstruksjonen eller utenfor veggkonstruksjonen.

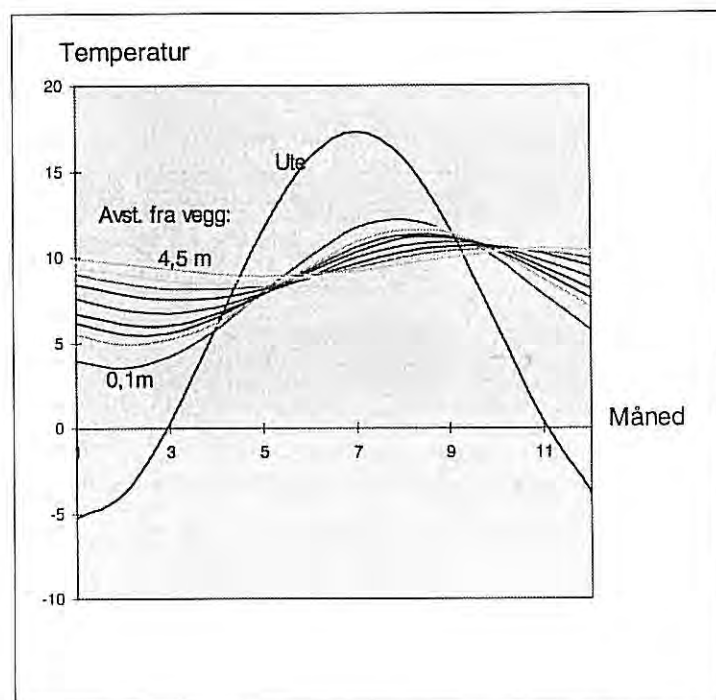
I et delprosjekt innenfor fuktprogrammet er årlig temperaturvariasjon under golvet i ulike avstander fra yttervegg beregnet med et todimensjonalt beregningsprogram for tidsavhengig varmetransport, HEAT2.

Temperaturvariasjonene kan benyttes som klimadata i fuktprogrammet MATCH, slik at man kan beregne fukttransporten gjennom golvkonstruksjonen i forskjellige avstander fra yttervegger.

Resultatene er presentert i NBIs prosjektrapport 227. Eksempel på temperaturvariasjon under isolert golvkonstruksjon, figur 7, er vist på figur 8.



Figur 7 Golv på grunnen med angivelse av beregningspunkter for jordtemperatur



Figur 8 Eksempel på temperaturvariasjon under golv med 200 mm isolasjon i Oslo

## 4 VIDERE ARBEID

### Aktuelle arbeidsområder for golv på grunnen

- Utarbeide dimensjoneringsgrunnlag for U-verdier, inkludert kuldebroberegninger for forskjellige grunnmurstyper
- Utarbeide dimensjoneringsgrunnlag for frostsikring av ringmur
- Lette golvkonstruksjoner på grunnen uten betong

## 5 LITTERATUR

Geving, S. og Torgersen, S.E. 1997. Klimadata for fuktberegninger. Referanseår for 12 steder i Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen. Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 227. Oslo

Forslag til Norsk Standard NBR F 220/93 (prEN 1190): Bygningers termiske egenskaper-Varmeutveksling med grunnen - Beregningsmetode

Forslag til Norsk Standard NBR F 7/95 (prEN-ISO 13793): Bygningsfundamenter Sikring mot frostheving

Byggdetaljer:

521.111 Golv på grunnen med ringmur for oppvarmede bygninger. Utførelse (planlagt 98).

521.112 Golv på grunnen med ringmur for oppvarmede bygninger. Varmeisolering og frostsikring (planlagt 98).

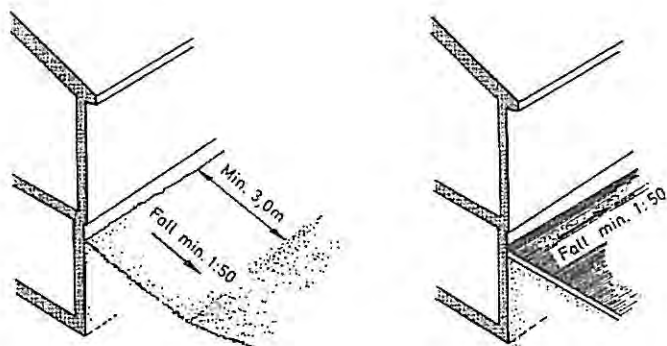
# VEGGER MOT TERRENG

Siviling. Svein Erik Torgersen

## 1 ANBEFALTE PRINSIPPLØSNINGER

### Overflatevann

Terrenget må planeres slik at overflatevann ikke renner inn til bygningen. Terrenget bør planeres med fall, helst 1:20, men minst 1:50 fra bygningen til en avstand på minst 3 m. Det må tas hensyn til en viss synkning i veggens tilbakefylling. Det kan også planeres med fall langs veggen til lavereliggende terreng der forholdene ligger til rette for det. Se figur 1.



Figur 1 Avledning av vann på terrenget. Fall fra bygningen eller langs bygningen

### Takvann

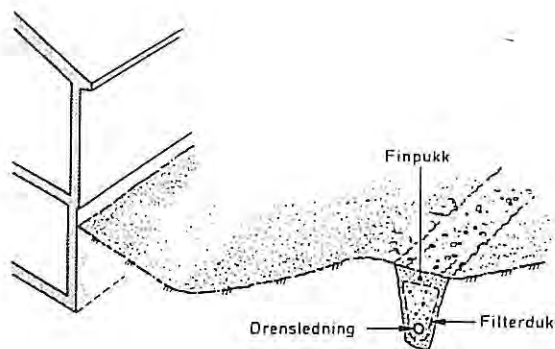
Vann fra taknedløp må ledes bort fra bygningen.

Bygningsmyndighetene avgjør om takvannet skal føres i rør til avløpsledning eller om det kan ledes ut på terrenget. Hvis takvannet ledes vekk i tette rør, bør det monteres overgang med løvsil over terrengnivå. Terrengoverflaten under takvannsutkast må tettes og erosjonsbeskyttes, ev. kan det legges en renne eller et rør med godt fall slik at vannet kan renne bort til en avstand minst lik veggens oppfyllingshøyde før det infiltreres naturlig i grunnen. Flater med vegetasjon er best egnet til infiltrasjon. Takvann må ikke føres til drenering.

### Avskjærende drenering

Overflatevann som ledes mot huset fra en større skråning, bør, spesielt hvis grunnen også består av vannførende sand- og siltlag eller skråningsfjell, fanges opp med en avskjærende drenering som legges langs skråningen, se figur 2. Hvis det hovedsakelig er overflatevann som skal fanges opp, bør det lages en forsenkning i terrenget over grøften med drenerende masser i toppen.



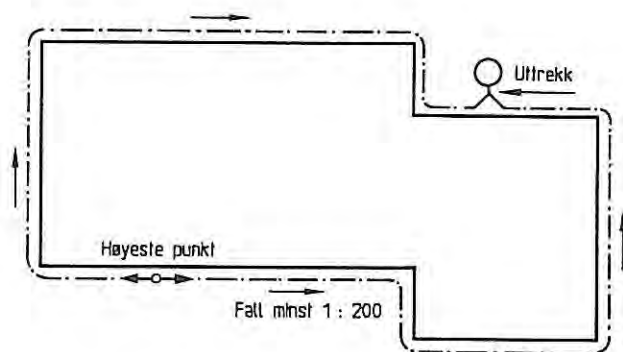


Figur 2 Avskjærende drenering

### Husdrenering

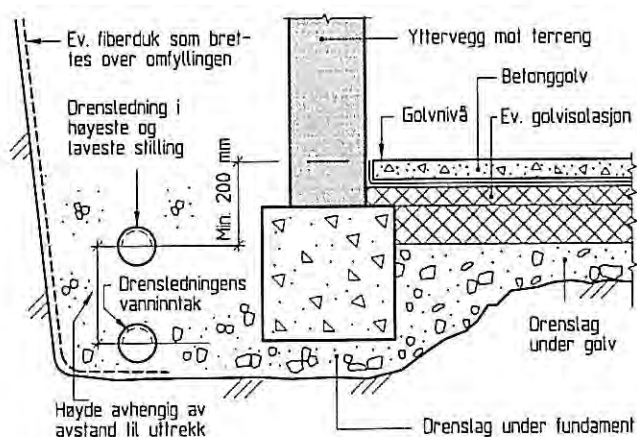
Bygning med golv under terrengnivå må dreneres. Drenssystemet må planlegges og utføres omhyggelig. Vannlekkasjer og fuktskader som oppstår etter at rom under terreng er innredet og utvendig terreng er ferdigbehandlet, kan få store økonomiske konsekvenser. I mange tilfeller er full oppgraving nødvendig for å utbedre skaden. Innvendig tetting og overflatebehandling mot fukt utenfra er som regel utilstrekkelig.

Drensledning må ha jevnt fall minst 1:200 til uttrekk og dimensjoneres for de vannmengdene som skal føres bort. En større ledning er å foretrekke framfor to mindre. Ved drenering av småhus må innvendig diameter på enkel ledning ikke være mindre enn 78 mm. Ledningens høyeste punkt legges som regel slik at avstanden til uttrekk blir like stor begge veier, se figur 3.



Figur 3 Drensledningen må ha jevnt fall til uttrekk (kum).

Ved drensledningens høyeste punkt må vanninntaket til ledningen ligge minst 200 mm lavere enn overkanten av golvet (underkanten av oppfôringen ved oppfôret tregolv). Se figur 4. Som vanninntak regnes det nivå der vannet er forutsatt å trenge inn i drensledningen. Plastledninger som normalt bare har inntaksåpninger i øvre halvdel, kan eventuelt dreies 90 grader hvis det er problemer med fallforholdene. Drensledningens laveste nivå bestemmes av fallet på ledningen (1:200) og avstanden til uttrekk. Ledningen må legges i omfyllingsmasser av pukk.



Figur 4 Plassering av drensledningen

### Fuktsikring av veggkonstruksjonen

Utvendig varmeisolerings av mur- og betongvegger eliminerer faren for skadelig kondens i veggkonstruksjonen. Konsekvensene ved fuktinnslag er også mindre enn ved innvendig isolering.

Til utvendig isolasjon kan man bruke plater av polystyren eller såkalte markplater av steinull, kombinert med tilfylling av drenerende masser. Man kan også bruke spesielle drensplater av polystyren eller steinull. Det kan da fylles tilbake med stedlige gravemasser.

Eksempel på utvendig isolert vegg er vist på figur 5.

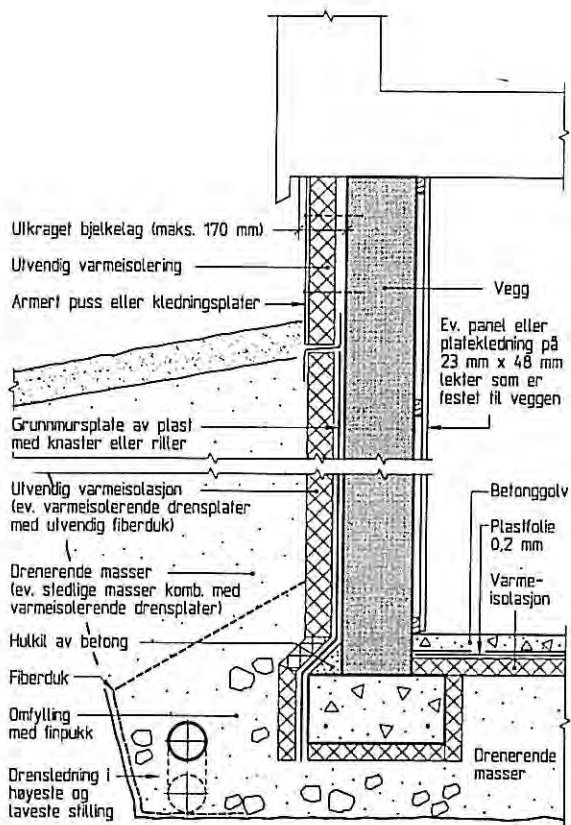
Et godt alternativ er murverk av såkalte isoblokker, med puss på begge sider. Det fins i dag 300 mm lettklinkerblokker med isolasjonskjerne av polyuretanskum som klarer nye krav til varmeisolerings uten tilleggsisolering i bygning som varmes opp til minst 20 °C.

Det anbefales at yttervegger av mur- og betong som isoleres på innsiden, også isoleres på utsiden under terrengnivå som vist på figur 6. Til utvendig isolering under terreng, og samtidig drenerende fylling, kan også brukes løs lettklinker, som vist på figur 7. Dette gir også betydelig reduksjon av jordtrykket mot veggen.

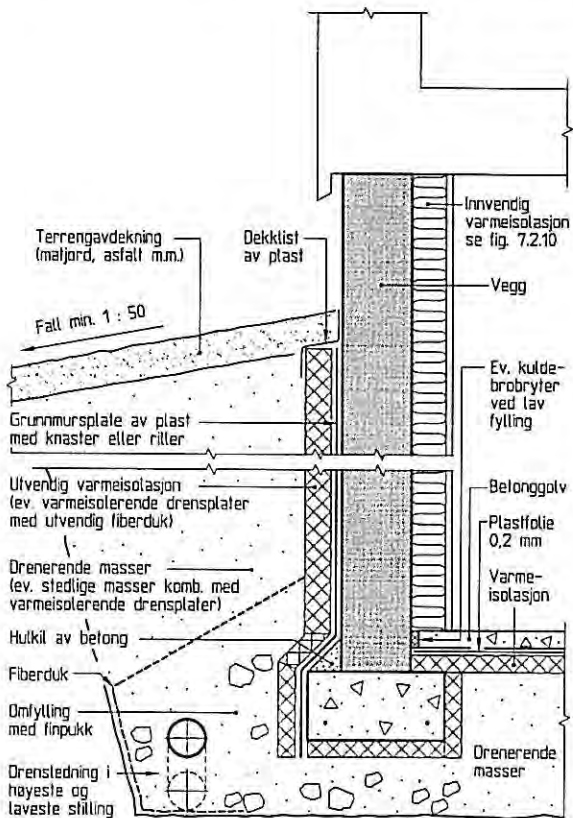
Under terrengnivå bør minst 1/3 av den samlede isolasjonen plasseres utvendig. Dette gir en temperaturheving i betongen og dermed mindre risiko for kondens i veggen. Det anbefales dampåpen, men lufttett konstruksjon mot rommet, dvs. at veggen utføres uten plastfolie og tette overflatebelegg. Det forsettes normalt anbefalt inneklime for boliger. Høyt fukttillskudd og dårlig ventilasjon kan skape problemer.

Både målinger i felt og beregninger har vist at dampåpen vegg uten plastfolie har betydelig lavere fuktnivå enn tilsvarende vegg med plastfolie. Der oppfyllingen er lavere enn halv vegghøyde, brukes plastfolie hvis det isoleres på innsiden.

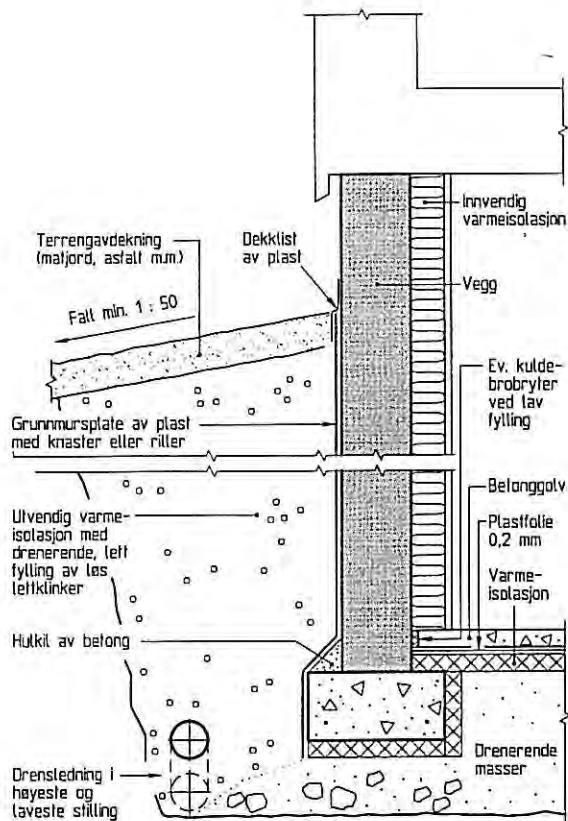
Yttervegger av mur- og betong som bare isoleres på innsiden, anbefales ikke. Risikoen for kondens øker med økende isolasjonstykkelse slik at forholdene blir mer ugunstige med kravene i de nye forskriftene.



Figur 5 Utvendig isolert vegg mot terreng

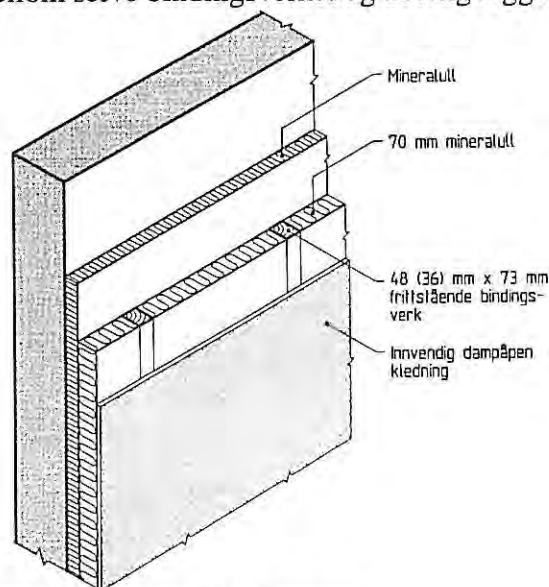


Figur 6 Innvendig varmeisolasjon kombinert med utvendig varmeisolasjon under terreng



Figur 7 Innvendig varmeisolerings kombinert med varmeisolerende fylling av løs lettklinker

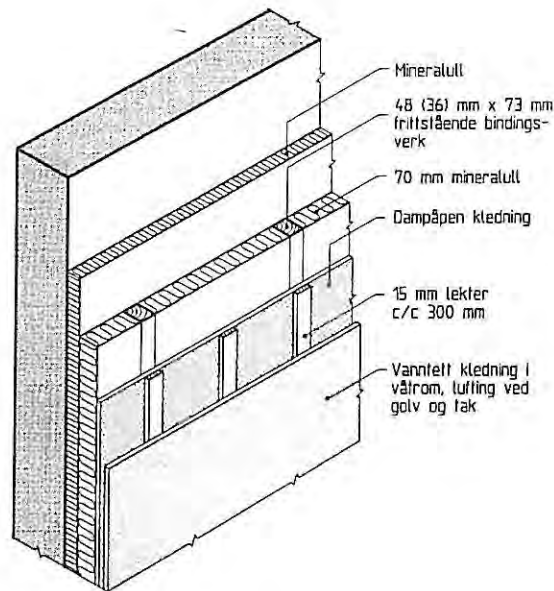
Isolert bindingsverk på innsiden av vegg av mur eller betong bør bygges opp som vist på figur 8, med et lag isolasjon mellom selve bindingsverket og betongveggen.



Figur 8 Innvendig varmeisolerings med bindingsverk

For vegger i våtrom under terrengnivå er det sikrest å mure opp en tynn forblendingsvange av f.eks. lettklinkerblokk med isolasjon mellom vangen og bakveggen. Forblendingen pusses og kles med vanntett vinylbelegg eller fuktmembran og fliser.

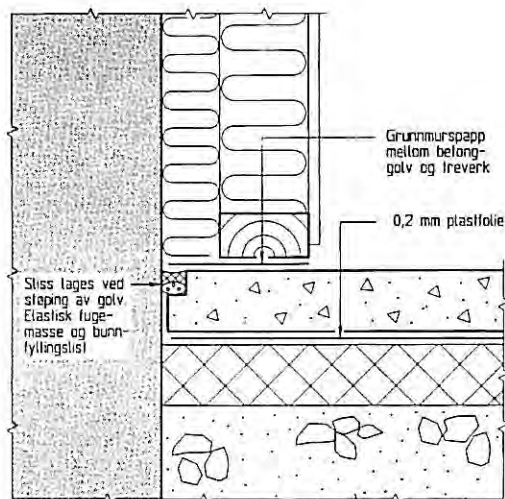
Vegger i våtrom kan også utføres som bindingsverk med utlektet vanntett kledning på innsiden, se figur 9.



Figur 9 Innvendig varmeisolering med bindingsverk i våtrom, med utlektet, vanntett kledning der det er våtsone mot yttervegg

Støpeskjøten mellom betonggolvet og betongvegg må være lufttett. Svinn i betonggolvet gjør at det her ofte blir en sprekk på noen millimeter. Med underliggende luftåpne masser av pukk eller sprengstein og med et undertrykk som det normalt er i en kjeller eller underetasje, kan det trekke opp varm, fuktig luft fra grunnen til bindingsverket om vinteren; vann som kondenserer og forårsaker mugg og råte. Svinnsprekk kan tettes som vist på figur 10. En annen mulighet er å tette med polyuretanskum mellom betongvegg og bunnsvill.

Mellom rekkehus lages det en fuge i betonggolvet for å begrense lydforplantning mellom husene. Denne fugen må også lufttettes omhyggelig mot grunnen. Fuktig luft kan ellers trekke opp i doble skillevegger av tre (skorsteinsvirkning) og gi fuktskader i tak/loft.



Figur 10 Lufttetting med fugemasse av støpeskjøten mellom betonggolvet og betongvegg



## Tekniske forskrifter 1997. Varmeisolering

Kravet til U-verdi for vegger er senket fra  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  til  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  i bygninger som oppvarmes til  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  eller mer. Dette betyr at isoleringstykkelsen økes fra 125 mm til 150 – 200 mm. Vi advarer mot å utføre vegger mot terreng med så mye isolasjon plassert på innsiden. Tabell 1 viser orienterende U-verdier for yttervegger avhengig av isolasjonstykkelse og -plassering.

Tabell 1 Orienterende U-verdier for vegger mot terreng

Isolasjon som vist i	Isolasjonstykkelse i mm		U-verdier i $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$				
			Oppfyllingshøyde i m				
	Ut-vendig	Inn-vendig	0	0,5	1,0	1,5	2,0
fig.5	50	0	0,61	0,61	0,57	0,52	0,45
	100	0	0,34	0,34	0,33	0,31	0,28
	150	0	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21
	200	0	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18
fig. 6	50*	73	0,47	0,43	0,39	0,34	0,28
	75*	73 + 50	0,30	0,28	0,25	0,22	0,19
	75*	73 + 70	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17

## 2 VANLIGE FEIL

Noen vanlige feil som gir fuktproblemer:

- Fall på terreng mot hus
- Takvann slippes ned ved veggen
- tilbakefylling med ikke-drenerende masser direkte mot vegg
- Drenering ligger for høyt
- Drenering gror igjen
- Dreneringen sløyfet i sprengsteinstomt (teori). Fyllingen er oppblandet med og tettet av jordmasser (praksis).
- Fuktig luft fra grunnen trekker opp og kondenserer i konstruksjoner
- Fuktfølsomme materialer som fuktes opp i byggetiden og ikke tørker

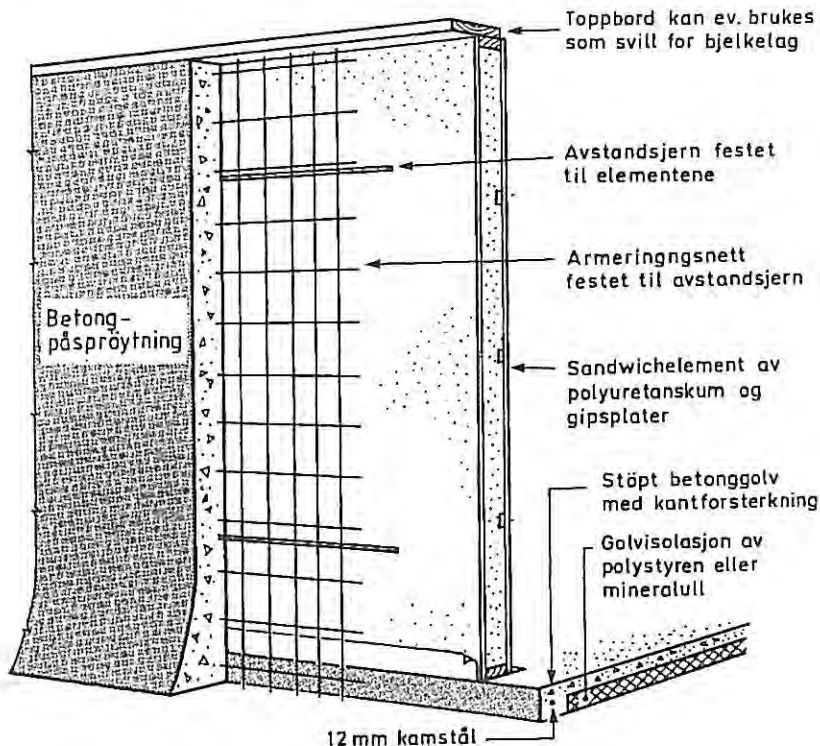
Et spesielt eksempel på det siste kan være grunnmurer av betong, isolert på innsiden med et sandwichelement, se figur 11. Sandwichelementet består av gipsplater og tresviller, som er fuktfølsomme materialer, og en isolasjonskjerne av polyuretanskum.

Fukten fra betongstøpen er alkalisk og derfor antakelig ikke spesielt kritisk for muggvekst. Verre er det med fukt som tilføres i form av nedbør i byggetiden før huset er lukket, eller senere oppfukting på grunn av fukt utenfra.

Innvendig plassering av isolasjonselementet der bakre gipsplate og sviller ligger direkte mot betongveggen gir små mulighet for tørking. Elementet kan bare tørke innover mot rommene. Erfaring har vist at når uttørkingen blir forhindret pga. tette overflatebelegg, er forholdene spesielt ugunstige, og det oppstår muggsopp- og råteskader i elementene.

Det er spesielt viktig å beskytte elementene mot nedbør i byggetiden, og utvendig fuktsikring må utføres omhyggelig.

Det er bygd 15 – 20 000 grunnmurer av denne typen de siste 20 årene. Foreløpiger det registrert ca. 200 skader, som stort sett er oppdaget tilfeldig. Stadig blir det registrert nye skader, og det antas at problemet kan være meget omfattende.



Figur 11 Betongvegg isolert med sandwichelement på innsiden. Betongen kan være påsprøytet som vist, eller støpt på vanlig måte med elementet som innerforskaling.

### 3 RESULTATER FRA PROSJEKTER

#### Klimadata for fuktregninger Temperaturer i grunnen rundt kjellere

Varme- og fuktforholdene i konstruksjoner mot grunnen er svært kompliserte og dermed også vanskelige å beregne. Forholdene er tredimensjonale og tidsavhengige. En rekke materialparametre og randbetingelser inngår.

Mange har kun hatt tilgang til endimensjonale beregningsprogrammer av typen MATCH, som kan utføre tidsavhengige beregninger av fukt- og varmetransport.

Konstruksjoner mot grunnen med slike endimensjonale programmer kan beregnes dersom temperaturvariasjonen i jorda under golvkonstruksjonen eller utenfor veggkonstruksjonen er kjent.

I et delprosjekt innenfor fuktprogrammet er årlig temperaturvariasjon i forskjellige dybder utenfor kjellervegger og under kjellergulvet i forskjellige avstander fra yttervegg beregnet med et todimensjonalt beregningsprogram for tidsavhengig varmetransport, HEAT2.

Resultatene er presentert i NBIs prosjektrapport 227.

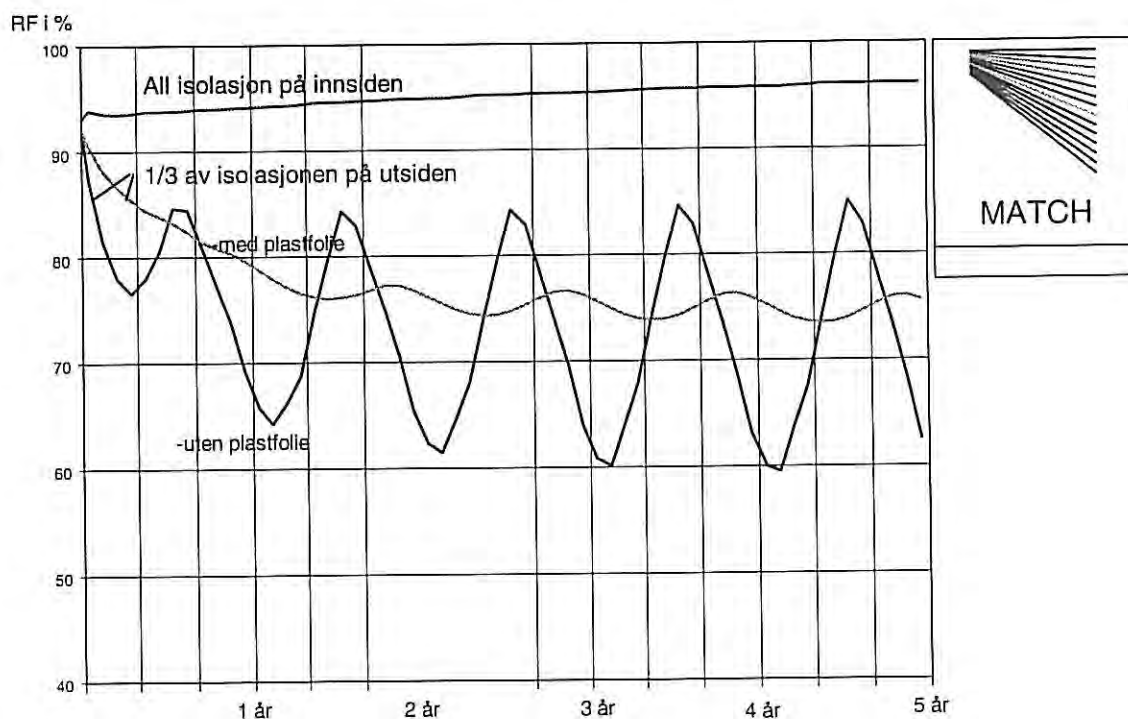
Temperaturvariasjonene kan benyttes som klimadata i fuktprogrammet MATCH, slik at fukttransporten over året gjennom konstruksjonen kan beregnes.

Figur 12 viser eksempel på fuktberegning av en kjellervegg av betong som vist i figur 6, der 1/3 av isolasjonen (70 mm av 200 mm) under terrengnivå er plassert på utsiden. Dybde under terreng er 2 m, og relativ fuktighet bak isolasjonen på betongveggen innsiden er beregnet.

Til sammenligning er det også beregnet vegg med hele isoleringen (200 mm) på innsiden. Dette gir RF over 90 % og risiko for muggvekst. Isolering av betongvegger på innsiden i henhold til de nye kravene i teknisk forskrift 1997 frarådes.

Minst 1/3 av isoleringen under terreng bør plasseres på utsiden. Relativ fuktighet holder seg da under 85 %, og risken for muggvekst er minimal. Figuren viser at betongveggen tørker mye raskere i starten (byggfukt). Beregningen er spesielt gunstig for vegg med plastfolie fordi der er forutsatt steinull på utsiden. Tettere isolasjonsmaterialer gir mye langsommere tørking. Det er derfor gunstig å sløyfe plastfolien på innsiden. Det forsettes inneklime med normale fukttilskudd (god ventilasjon).

### Fuktighet på betongveggen



C:\MATCH15\FILES\HAGREP0.MTH

Byggforsk

Figur 12 Eksempel på fuktberegning av kjellervegg av betong

#### **4 VIDERE ARBEID**

- Utvikle løsninger for utvendig isolerte konstruksjoner
- Rehabilitering av kjellere med fuktproblemer

#### **5 LITTERATUR**

Holøs, Hungnes, Torgersen. 1996. Kvalitetssikring av boligrom under terreng

Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 201. Oslo

Geving, S og Torgersen, S.E. 1997. Klimadata for fuktberegninger. Referanseår for 12 steder i

Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen. Norges byggforskningsinstitutt,

Prosjektrapport 227. Oslo

Forslag til Norsk Standard NBR F 220/93 (prEN 1190): Bygningers termiske egenskaper-  
Varmeutveksling med grunnen - Beregningsmetode

Byggdetaljer:

514.221 Fuktsikring av bygninger (1986, rev. 1998)

527.205 Varmeisolerte kjellerrom (1993)

Byggforvaltning:

727.113 Innredning av oppholdsrom i eksisterende kjeller (1995)

727.121 Fukt i kjellere. Årsaker og utbedring (planlagt 1998)

# ANBEFALT FUKTNIVÅ I BETONGGOLV OG -DEKKER

Dr. ing. Peter Blom

## 1 BETONGENS SAMMENSETNING

Betong er en blanding av sement, vann, tilsetningsstoffer og tilslag (steinmaterialer som pukk eller grus, sand og filler). Når betongen herder, reagerer sementen med vann (hydratiserer) og danner et hydraulisk bindemiddel bestående hovedsakelig av amorft kalsiumsilikathydrat (såkalt CSH-gél) og krystallinsk kalsiumhydroksid,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Kalsiumhydroksid er tungtløselig og vil i likevekt med vann gi  $\text{pH} = 12,5$ . I tillegg inneholder sementen alkalier (opptil ca 1 % natrium- og kaliumoksider) slik at vannet i betongen kan ha  $\text{pH}$  opp til 13,5. Under hydratiseringen vil vannet bindes kjemisk (ca. 0,25 deler pr del reagert sement) og fysikalsk (ca. 0,15 deler pr del reagert sement). Den ferske betongen har imidlertid ofte et vann/osement-forhold (v/c) som er større enn det som teoretisk kan bindes (v/c = 0,40). Dessuten vil en sement aldri hydratisere fullstendig (dvs hydratasjonsgrad,  $\alpha < 1$ ). Det ureagerte vannet vil danne vannfylte porer (såkalte kapillærporer) som delvis vil tømmes ved uttørking. Etersom volumet av bindemidlet er mindre enn utgangspunktet sement og vann, vil det også dannes tomme kontraksjonsporer som utgjør ca. 25 % av kjemisk bundet vann. Bindemiddelet i betong er altså både alkalisk og porøst av natur. Den høye porøsiteten, spesielt i sementen er illustrert i tabell 1, som viser porøsitet og kapillært bundet vann ved forskjellige betongkvaliteter.

*Tabell 1 Kapillært bundet vann (før uttørking) og porøsitet for betong og sement for ulike betongkvaliteter*

*Beregningene er gjennomført for 300 kg portlandsement pr.  $\text{m}^3$  og hydratasjonsgrad 0,8.*

*Porøsitet i tilslagsmateriale og porøsitet på grunn av innført luft ved blanding/støping kommer i tillegg.*

Betongtype	v/c	Kapillært vann ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Porøsitet betong (Vol-%)	Porøsitet sement (Vol-%)
Betong C45 MA	0,45	39	5,4	23,9
Betong C35 NA	0,60	84	9,9	36,5
Betong C25	0,75	129	14,4	45,6

For å redusere fuktbelastningen innendørs, vil det være en fordel å bruke betong med lite overskuddsvann. Men betong med v/c ned mot 0,4 har vært for kostbar, blant annet på grunn av tyngre støpbarhet. Golvbetong har derfor hatt v/c-forhold opp mot 0,75. I dag tilsettes betongen plastiserende tilsetningsstoffer (P-/SP-stoffer) som gjør det mulig å redusere masseforholdet (v/c-tallet) uten at det går ut over støpbarheten. Vanlig konstruksjonsbetong for husbygging kan i dag ha et v/c-tall på ca. 0,6.

Den høye porøsiteten gjør betong til et hygroskopisk materiale, det tar opp og avgir vann til omgivelsene. Vann forekommer på tre forskjellige måter i betong:

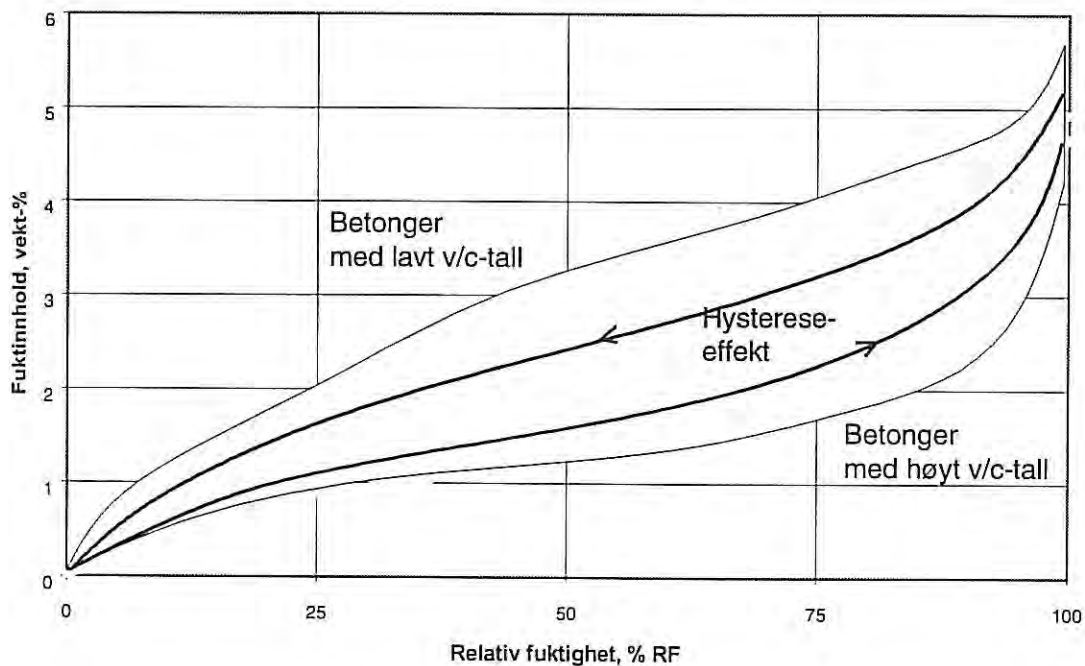


- kjemisk bundet i hydratiseringsproduktene
- fysisk bundet eller adsorbent til de indre overflatene i porene i sementpastaen og i tilslaget (gelvann)
- fysisk bundet i form av kapillærvann i porene i sementpastaen og i grove hulrom i betongen

## 2 FUKT I BETONG

Fukttinnholdet i betong kan måles med en rekke forskjellige metoder. Se innlegg «Fuktmålinger i praksis – erfaringer» av Bjørn Bakken. I praksis er tørking og veiing er den mest presise måten for å måle fukttinnholdet på. Biter av betong veies før og etter tørking til likevektsfukt ved tørketemperaturen (105 °C). Med de avleste vektene kan man beregne fukttinnholdet, vanligvis oppgitt som prosent av tørrvekten. Blant golvleggere har det imidlertid helt opp til i dag vært vanlig å måle fukttinnholdet etter den såkalte kalsiumkarbid-metoden (CM-metoden). Metodens store utbredelse skyldes et krav i gjeldende NS 3420 om at fuktigheten i betonggolv før det legges mykt golvbelegg høyst skal være 3 vektprosent målt med CM-apparat. Som beskrevet i innlegget til Bjørn Bakken, er denne målemetoden imidlertid unøyaktig, blant annet fordi massen av prøvestykkene (ca. 20 g) er for liten.

Fukttinnholdet i betong kan også karakteriseres ved den relative fuktigheten i betongens pore-system. I prinsippet kan man regne om fra et fukttinnhold målt som vektprosent til en relativ fuktighet ved hjelp av sorpsjonskurver. En sorpsjonskurve beskriver sammenhengen mellom fukttinnholdet i materialet uttrykt i kg eller vektprosent og relativ fuktighet i omgivende luft. Denne omregningen er imidlertid vanskelig for betong, fordi det ikke fins noen entydig sorpsjonskurve for materialet, jf figur 1. Dette skyldes først og fremst at likevektsfuktigheten er avhengig av betongkvaliteten (v/c-tallet). Hysterese-effekter, dvs. at likevektsfuktigheten er avhengig av om materialet er på vei til å tørke ut eller fuktes opp, gjør også omregning fra fukttinnhold til relativ fuktighet vanskelig.



Figur 1 Sorpsjonskurver for betong  
Sorpsjonskurven er avhengig av v/c-tallet, som ofte ikke er kjent i praksis.

I de nordiske landene er likevel krav til fuktinnhold i betong uttrykt ved krav til relativ fuktighet. Det er to årsaker til dette:

1. Det ser ut til å være lettest å finne entydige sammenhenger mellom fuktrelaterede skader og relativ fuktighet.
2. Relativ fuktighet målt i et hulrom som er i likevekt med luften i betongens porer gir et bedre mål for hvilken fuktmessig belastning lim og belegg utsettes for. Årsaken er først og fremst at målemetoden er material-uavhengig, mens fuktinnholdet oppgitt i vektprosent er svært avhengig av porøsitet og densitet.

Relativ fuktighet måles normalt med såkalte kapasitive fuktfølere. Måleprinsippet går ut på å måle kapasitansen i en tynn plastfolie. Den elektriske kapasitansen i folien øker med økende relativ fuktighet i luften. Kalibrering av slike måleinstrumenter er meget viktig. Normalt skjer kalibreringen i små beholdere med saltampuller som leveres med måleinstrumentene. På grunn av fare for drift, må instrumentene kalibreres flere ganger i året. Selv med hyppig kalibrering med disse ampullene, er man ikke garantert rett måleresultat. De viktigste årsakene til feilmåling er:

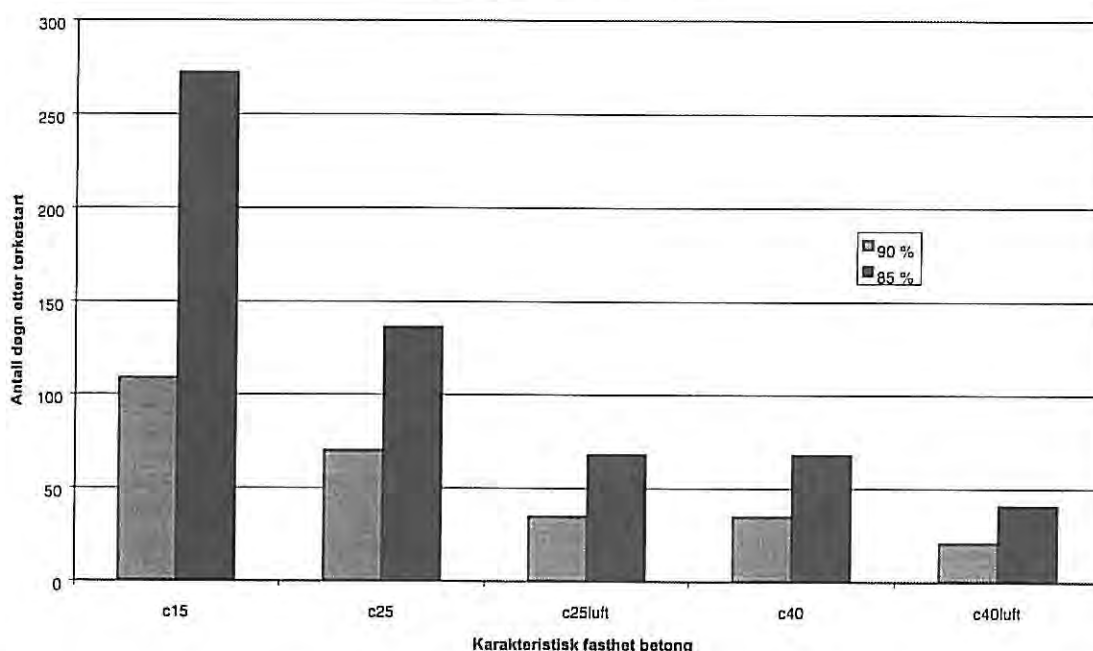
- Følerne benyttes i måleområder de ikke er kalibrert for (ikke-linearitet).
- Temperaturvariasjoner under måleperioden. Spesielt under kalibrering er det svært viktig med stabile temperaturforhold romluften.
- Temperaturvariasjoner og -forskjeller under måling. Spesielt temperaturforskjeller mellom målepunkt (dvs. betong) og romluft kan gi store avvik.
- Hysteres-effekter. Hvis et instrument flyttes fra et målepunkt med relativt høy fuktighet til et annet med lavere fuktighet, kan hysteres-effekter i instrumentet forstyrre målingen med flere prosent.

I tillegg kommer feilkilder knyttet til for kort måletid, feil måledybde osv. Med godt kalibrerte instrumenter kan man i området rundt 90 % RF regne med usikkerhet ved målingen (standard-avvik) på minimum  $\pm 2$  % RF. Det betyr at hvis man vil ha 90 % sannsynlighet for at den virkelige verdien er under 90 % RF, egentlig må ha en maksimal avlest måleverdi på 87,5 % RF.

Erfaringer med RF-målinger så langt i Norge er blandet, det er helt klart at det i bransjen benyttes instrumenter som ikke er kalibrert, og at målingene ikke alltid utføres korrekt. Det er såpass store utfordringer knyttet til kalibrering, temperatur- og hysteres-effekter ved RF-måling i betong at metoden ikke bør tas i bruk uten særskilt opplæring.

Det tar lang tid å tørke ut overskuddsfuktighet i betongkonstruksjoner. Figur 2 viser tørketid i døgn for et plass-støpt dekke av betong. Det går fram av figuren at en endring av krav til maksimal fuktighet i dekke fra 90 % til 85 % har store konsekvenser.

### Standard uttørkingstid 8 cm påstøp



Figur 2 Standard uttørkingstid for et 8 cm påstøp (ensidig uttørking) (Byggdetaljer G 474.533)

Tørketiden er beregnet etter at vanning eller tildekking med plastfolie opphører. Tørring ved 18°C og 60 % relativ luftfuktighet.

### 3 KRITISK FUKTINNHold

Halv-harde belegg (vinyl, linoleum, gummi) som legges på en svært fuktig betong, kan få buler og blærer. Årsaken kan være at belegget sveller og limet mister heften. Slike problemer oppstår oftest når golvet tilføres fuktighet, og relativ fuktighet kommer over 95 %. Ved slike fuktnivåer kan de fuktbaserte lengdeendringene i belegget øke kraftig, i tillegg til at heften i limet reduseres på grunn av nedbrytning. Man må være oppmerksom på at skader på golvbelegg ofte har andre årsaker, som feil utførelse, dårlig underlag, etc.

Lim for halv-harde belegg på betong består oftest av lateks (eg. myke polymerpartikler emulgerert i vann). Opplysninger fra produsenter tyder på at i 80 % av golvlimet på markedet er polymerer basert på akrylater. Akrylat-baserte limtyper gir et godt arbeidsmiljø, både når det gjelder løsemiddelbelastning og leggeteknikk.

De fleste slike lim er imidlertid ikke alkalibestandige. Hvis limet tilføres alkalisk vann, kan det re-emulgeres og/eller reagere med de oppløste hydroksidene fra betongen. I begge tilfeller vil polymerens heft egenskaper forringes. I tillegg fører den kjemiske reaksjonen med hydroksidene at det frigjøres flyktige forbindelser som butanol og 2-etylheksanol. Heftreduksjonen i limet blir særlig merkbar etter hvert som fuktigheten i underlaget går over 90 %. Her er det imidlertid store variasjoner mellom limtypene.

Golvbelegg er også mer eller mindre ømfintlig for fuktighet. Det gjelder spesielt linoleum, som kan gå i oppløsning når det utsettes for mye fukt. Vinylbelegg er mer fuktbestandig, men akkurat som for limet kan det skje en reaksjon mellom hydroksidene fra betongen og mykner-

stoffer (ftalater) i belegget. Det kan føre til frigjøring av 2-etyl-heksanol eller andre alkoholer. Tidligere har det også vært eksempler på at myknerstoffer har migrert fra vinylbelegget og ned i limet under påvirkning av alkalisk fukt. Det har ført til stor krymp og et stivere belegg. I dag brukes det som regel mindre flyktige myknere, slik at faren for migrering til lim og mykneravgang til inneluften er redusert.

Fuktig betong øker også risikoen for vekst av mikroorganismer på undersiden av belegget. Belegg med jutebakside er spesielt utsatt. Kravene om maks. 85 – 90 % RF i betong under belegg er i utgangspunktet høyt i forhold til risikoen for muggvekst. I praksis ser det imidlertid ikke ut til at korrekt utførte golvkonstruksjoner er spesielt utsatt for muggvekst, under forutsetning av at det ikke tilføres vann fra renhold eller grunnen. Årsaken til dette kan være at det alkaliske miljøet ikke er gunstig for muggvekst, eller at en kontinuerlig limfuge gir en beskyttelse.

#### 4 KONKLUSJONER FRA FORSØK MED ALKALISK NEDBRYTNING

I Norden er det etter hvert gjort flere forsøk for å dokumentere sammenheng mellom fuktnivå i betongen og nedbrytning av lim/belegg. Det er først og fremst risikoen for lukt- og innklimaproblemer som har vært utgangspunktet for målingene. I de svenske undersøkelsene konkluderes det med en økt avgassing av nedbrytningsprodukter med økende RF. Bruk av en selvutjevne sparkelmasse oppgis å redusere avgassingsnivået.<sup>1</sup>

Byggforsk har gjennomført en serie avgassingsprøver fra prøvestykker med belegg limt på betong med ulik fuktinnhold.<sup>2</sup> I likhet med de svenske undersøkelsene, viser analysene at avgassing fra golvkonstruksjonen i det første halve året domineres av forbindelser fra lim-sjiktet.

Forsøkene viser at følgende faktorer gir en risiko for høyere avgassing fra golvkonstruksjonen, med dominerende komponenter 2-etyl-heksanol og butanol:

- finporøs og fuktig høyfast betong ( $v/c < 0,4$ , RF ca. 90 %)
- svært fuktig betong eller sparkelmasse ( $v/c > 0,6$  RF > 95)
- golv med innlagt varmekabler

Følgende faktorer reduserer risikoen for avgassing fra golvkonstruksjonen:

- bruk av lim spesielt utviklet med hensyn på lite avgassing og alkalibestandighet
- bruk av ulike typer selvutjevne sparkelmasser

Bruk av ulike typer alkalisperre ga ingen reduksjon i avgassing. Målingene viste også relativt høy avgassing fra prøvestykker der golvbelegg ble limt direkte på en aluminiumsplate. Tabell 2 viser lukt- og irritasjonsterskler for de tre viktigste komponentene i avgassingsmålingene. RD50 er den konsentrasjonen som induserer en 50 % reduksjon av åndedrettsraten i mus. En vanlig konvertering fra irritasjon hos mus til irritasjonsrelatert grenseverdi for mennesker er  $0,03 \cdot RD50$ . Tabellen viser at de aktuelle forbindelsene kan gi lukt, men at de ikke vil virke irriterende i luftveiene.

<sup>1</sup> Gustafsson, H. Golvmaterial på ulike typer av fuktiga betongunderlag. SP rapport 1996:25

<sup>2</sup> Blom, P. Betong i bygninger – en vurdering av konsekvenser for inn klima og helse. Prosjektrapport. Byggforsk. Oslo 1998.



Tabell 2 Grenseverdier for aktuelle forbindelser fra golvkonstruksjon med vinylbelegg og akryl-basert lim

Forbindelse	Beregnet konsentrasjon i standardrom $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lukterskel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Irritasjonstærskel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Grenseverdi $0,03 \cdot \text{RD}50$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2-etyl-heksanol	153	500	1753	$7,16 \cdot 10^3$
1-butanol	85	90	3000-3800	$356 \cdot 10^3$
2-(2-butoksyetoksy)etanol	153	5	-	-

Referanser:

Lukterskel og Grenseverdi: «VOCBASE», B. Jensen, P. Wolkoff, Danmark 1996

Irr.tærskel: Dansk Indeklima Mærkning. «Prøvningsstandard til bestemmelse af afgangning fra byggevarer», 1. udgave 1994

## 5 TILTAK FOR Å UNNGÅ FUKTPROBLEMER

### Krav til fuktnivå

I Norge foreligger det forslag til en revidert utgave av NS 3420 om et maksimalt fuktnivå på 85 % RF før det legges et tett belegg som vinyl eller linoleum oppå. Dette er en skjerping i forhold til det generelle kravet i bransjen i dag på 90 %. Praktiske erfaringer fra bransjen tilsier imidlertid at en generell maks. grense på 90 % RF, målt i korrekt dybde, er fornuftig. Målingene i prosjektet hos Byggforsk, tyder også på liten gevinst med hensyn på luftkvalitet ved å skjerpe kravet. Man må også være oppmerksom på den kraftige økningen av tørketiden som en senking av kravet til 85 % medfører. Tabell 3 viser anbefalte fuktnivåer i betonggulv og -dekker ved ulike beleggtyper.

Et generelt krav om maks. relativ fuktighet kan være villedende. Høyfast betong når raskt ned i fuktnivåer på 85 – 90 %, men samtidig viser målingene at slike underlag kan gi høy avgassing. Problemene ved å måle relativ fuktighet korrekt må også understrekes. Det bør stilles store krav til firmaer som driver med fuktmåling.

Tabell 3 Krav til fuktinnhold i betong ved ulike belegg

Fuktnivåene gjelder byggfukt, det forutsettes at det ikke tilføres fuktighet fra grunnen e.l.

Golvbelegg	Maks. fuktnivå % RF
Tregolv	60 <sup>1)</sup>
Helsyntetiske tekstilbelegg uten belagt bakside	97
Tekstilbelegg med naturmateriale uten belagt bakside	90
Tekstilbelegg med belagt bakside	90
Vinylbelegg, ev. med bakside av skumplast	90
Linoleum	90
Gummi	85
Vinyl, gummi e.l. på golv med innlagt varme	75

1) Med 0,20 mm plastfolie under tregolvvet kan fuktnivået være høyere



## Planlegging og kvalitetskontroll

Konsulenter og entreprenører må legge stor vekt på planlegging, kvalitetskontroll og byggeplassoppfølging når det gjelder fuktproblematikk. Dette inkluderer oversikt og kontroll over:

- v/c-tall i betongen
- nødvendig tørketid
- tørkeklima
- fuktsikring mot grunnen
- framdrift for støping, sparkling og legging av belegg
- temperaturforhold under og etter legging av belegg

### *Still krav til limtype*

Forsøkene ved Byggforsk har vist at det er forskjell på lim, og at det går an å utvikle limtyper som både tilfredsstillende arbeidsmiljømessige krav og samtidig har lite avgassing og god alkalibestandighet. Bruk av slike nye limtyper er åpenbart det mest kostnadseffektive tiltaket dersom man vil redusere risikoen for ev. lukt-/inneklimateproblemer og samtidig få bedre heft ved høyere fuktnivåer.

### *Følg god limteknisk praksis*

I prinsippet kan man benytte heftliming i stedet for våtliming for å redusere avgassing. Ved heftliming har limet lang åpningstid før belegget legges på. På den måten fordamper noe av vannet i limet, og avgassing fra limsjiktet blir mindre. Heftliming kan imidlertid gi dårligere fasthet i limfugen. For øvrig bør man så langt det er mulig unngå svært tette underlag (f.eks. epoksy-behandlet betong), som både er problematisk limteknisk og som øker avgassing fra limsjiktet.

### *Golv med varmekabler må tørkes godt ut*

Dersom det er store temperaturgradienter over betongen over tid, med lavere temperatur på oversiden enn på undersiden, kan belegg/lim bli skadet på grunn av fukttransport mot kald side. Slike temperaturgradienter kan skje ved bruk av varmekabler, og derfor bør det stilles strengere krav til fuktnivået i slike golv (mindre enn 75 % RF).

### *Unngå lave temperaturer på nylagt belegg*

Det er flere eksempler på nedbrytning av limsjikt i forbindelse med at man i et råbygg holder etasjen over (med nytt golvbelegg) kald og etasjen under oppvarmet. Fukttilstanden kan ha vært tilfredsstillende når belegget ble lagt, men dersom temperaturen senkes drastisk kan forholdene endre seg. Man bør derfor etablere en god framdriftsplan i byggingen og ikke redusere temperaturen for mye over nylagte belegg.

### *Sparkelmasser kan gi ekstra sikkerhet*

Selvtjevne sparkelmasser reduserer risikoen for økt avgassing fra limet. Dette kan dels ha sammenheng med lavere alkalitet, dels med porestrukturen i overflaten. Sparkelmasser kan f.eks. være gunstig å bruke på betongelementer, som består av høyfast betong.

### *Alkalisperrer har liten hensikt*

Målinger ved Byggforsk viser at såkalte alkalisperrer ikke gir noen redusert avgassing fra limet. Årsaken er trolig at sperrene gir et tett underlag for limet, noe som både er uheldig limteknisk og som øker risikoen for økt avgassing.

### *Velg golvbelegg ut fra krav til bruken*

I Sverige har man lenge hatt forskjellige krav til fuktnivå i betongen avhengig av fyllstoffandelen i vinylbelegg. Denne delingen har lite for seg, dels fordi det er limets egenskaper som er mest avgjørende, og dels fordi lavkvalitetsbelegg med mye fyllstoffer ofte påføres mye polish som øker vanndampgjennomgangsmotstanden i belegget.

De siste årene har for øvrig beleggprodusentene lansert belegg som kan legges løst, uten lim. Slike belegg kan imidlertid ikke legges overalt.

### *Alternative golvkonstruksjoner*

Fullstendig sikkerhet mot fuktpåkjenning fra fuktig betong får man dersom belegget legges på et flytende golv med fuktsperre (folie, tynne plater e.l.) og ev. isolasjon over betongen. Det er også utviklet golv på grunn uten bruk av betong i det hele tatt, med en flytende golvkonstruksjon direkte på plastisolasjon.

# FUKTMÅLINGER I PRAKSIS – ERFARINGER

Ing. Bjørn Bakken

## 1 INNLEDNING

Ved de fleste skadetilfellene hvor Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk) har vært konsultert, har fukt vært årsak eller medvirkende årsak til problemene. Våre erfaringer er derfor at svært mange av disse skader kunne vært unngått dersom man hadde visst om, og tatt hensyn til, konstruksjonenes fuktilstand. Dette igjen betinger at man har både gode målemetoder og egnet vurderingsgrunnlag. I dette foredraget tar jeg derfor for meg noen måleinstrumenter, deres bruksområder og eventuelle fordeler og ulemper.

Da mine erfaringer om fuktproblemer i hovedsak skriver seg fra golvmaterialer og -konstruksjoner i forbindelse med skadeetterforskning, vil jeg ta for meg de ulike instrumentene og metodene som jeg har benyttet til å måle fukten i golv med. I tillegg vil jeg nevne erfaringer som er høstet med instrumentene og også si litt om prøveuttak.

## 2 METODER OG INSTRUMENTER FOR MÅLING AV FUKT

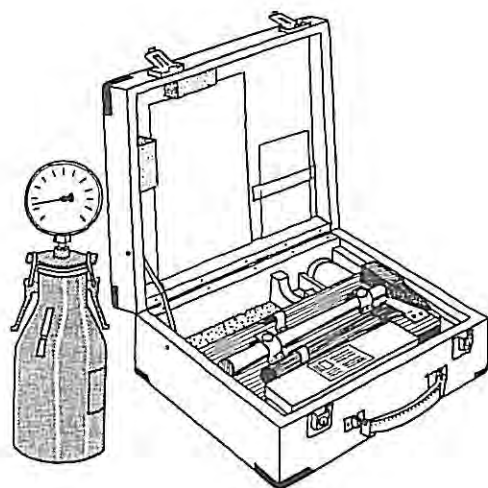
Det fins en rekke mer eller mindre egnede metoder på markedet for måling av fukt i materialer og konstruksjoner. Jeg vil her ganske kort ta frem fordeler og ulemper med de mest brukte:

- CM-apparat
- Veie- og tørkemethoden
- Motstandmåler
- Kapasitiv fuktmåler
- Relativ fuktighetsmåler

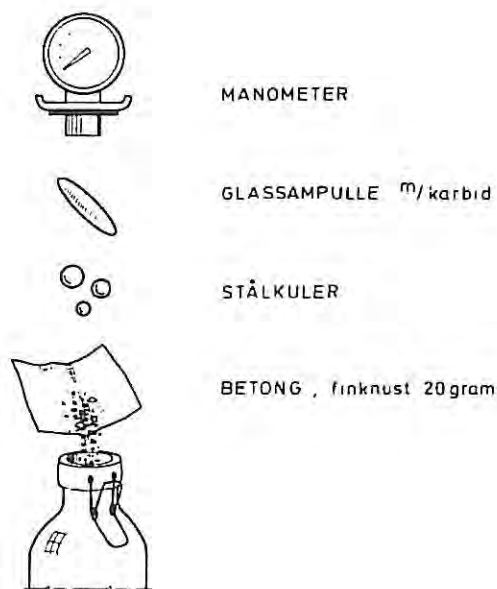
Med de fire første metodene bestemmes betongens fuktinnhold, mens den siste måler den relative fuktigheten i betongens poreluft.

### CM-apparat

Dette er den metoden som har vært mest benyttet i golvsammenheng, både fordi den har vært enkel i bruk og fordi den har vært ansett for å gi relativt sikre resultater. Apparatet blir ofte omtalt med sin tyske betegnelse: CM-Gerät. Den er en kjemisk metode. Prinsippet består i at fukt fra betongen skal reagere med kalsiumkarbid. Selve apparatet vises i figur 1. Finknust betong, stålkuler og en glassampulle med kalsiumkarbid fylles på stålflassen, og manometeret festes slik at det slutter tett om åpningen. Deretter rystes flasken. Stålkulene knuser glassampullen. Karbiden vil da reagere med vannet i prøven, og dermed dannes det acetylgass. Gassen gir et overtrykk i flasken som kan avleses på manometeret. Trykket er direkte proporsjonalt med mengde vann i flasken. Ved hjelp av en tabell kan det avleste trykket omsettes til fuktinnhold i prosent (våttvekts-%). Metoden gir fra 1/2 til 1 % lavere fuktinnhold enn veie- og tørkemethoden beskrevet i det følgende avsnittet.



Figur 1 a  
Utstyr til måling av fukt i betong etter  
kalsiumkarbidmetoden



Figur 1 b  
Måleprinsippet

Apparatet brukes til å bestemme fuktinnholdet i betong på golv av betong. I bl.a. Tyskland brukes apparatet også på materialer som anhydrit m.m.

Forsøk utført i [3] viste at de små prøvestykkene ga stor spredning i måleresultatene. En annen ulempe med metoden var at en del fukt avgår når betongen knuses. CM-apparatet avleses dessuten på byggeplassen etter kort tid (¼ til ½ time), mens forsøkene viste at tilnærmet riktig resultat først kunne ventes etter ca. 6 til 8 timer. Forsøkene i [3] viste også at korrelasjonen både til veie/tørkemethoden og RF-metoden var dårlig.

Ovennevnte resultat tilsier at CM-apparatet er et lite egnet utstyr for å bestemme fuktinnhold i betong. Apparatet har tidligere likevel hatt sin misjon, f.eks. for kontroll av om et golv fortsatt tørker ut o.l. Ved å trekke inn betongsammensetning, betongens alder m.m. i vurderingen kan en erfaren operatør i en del tilfeller også kan stipulere fukttilstanden med tilfredsstillende nøyaktighet. I dag fraråder vi imidlertid bruk av dette apparatet for å bestemme en betongs fukttilstand med begrunnelse bl.a. i forsøkene som er angitt i [3].

### Veie- og tørke- metoden

Dette er en enkel metode som har vært brukt i en årrekke. Fremgangsmåten er at en prøve veies, tørkes ut i en ovn ved 105 °C til likevekt og veies påny. De avleste vektene brukes til å beregne fuktinnholdet i prøven, vanligvis som prosent av tørrvekten, etter følgende:

$$\text{Fuktinnhold, vekt - \%} = \frac{\text{Våtvekt} - \text{Tørrvekt}}{\text{Tørrvekt}} \cdot 100$$

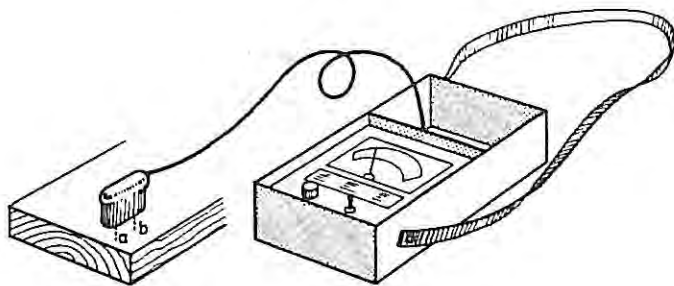
Metoden er anvendelig for materialer til å bestemme fuktinnholdet. For tre og trebaserte materialer vil i tillegg fuktinnholdet kunne si om materialene er for fuktige eller tørre nok til et bruksområde. Når det gjelder betong er metoden vel egnet når den kapillære metningsgraden skal bestemmes, se punkt 6.

Metoden kan gi de samme problemene med å få representative prøver for betong som ved karbidmetoden. Med større prøver, f.eks. minst 0,25 kg og helst i et stykke, blir denne faren for feilmåling redusert.

### Elektrisk motstandsmåler

Måling av fuktinnhold med motstandsinstrumenter er mulig fordi den elektriske motstanden i et materiale er avhengig av fuktinnholdet. Når fuktinnholdet øker, øker den elektriske ledningsevnen, og dermed reduseres motstanden. Motstanden måles mellom to elektroder som settes inn i materialet. Motstanden er kalibrert mot materialets fuktinnhold. Dette kan derfor vanligvis avleses direkte på en skala eller digitalt. Ofte har instrumentene en skala for hver materialtype. Figur 2 viser et slikt instrument.

Når det gjelder betong, bores det gjerne to små hull for elektrodene. I disse hullene fylles ofte en væske/pasta for å sikre god kontakt.



Figur 2  
Elektrisk motstandsinstrument

Metoden er spesielt velegnet for trebaserte materialer og har også vært benyttet bl.a. til gipsplater med tilfredsstillende nøyaktighet for f.eks. å avgjøre om en plate er fuktig eller ikke (relative målinger for å påvise oppfuktede partier e.l.).

Motstandsinstrumenter kan vanskelig tilfredsstillende strenge krav til målenøyaktighet på betong, da den elektriske ledningsevnen bl.a. også vil være styrt av betongkvalitet, tilslag, armering (stålfibre) og tilsetningsstoffer. Å si noe om fuktinnholdet i et betonggulv etter denne metoden, er derfor nærmest umulig. Disse instrumenttypene er imidlertid stadig under utvikling og kan kanskje på sikt også bli egnet for måling av fuktinnhold i betong.

### Kapasitive metoder

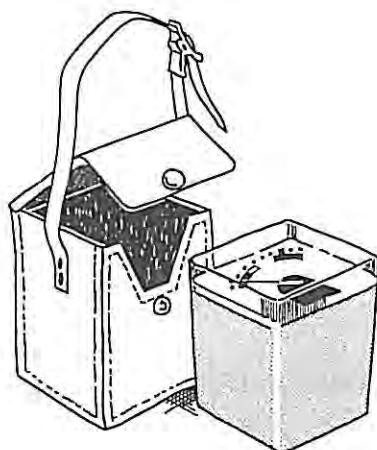
Fuktmåling med kapasitive metoder bygger på den store forskjellen mellom dielektrisitetskonstanten for vann (~ 80) og de fleste ikke metalliske materialene (ca. 2 – 12).

Mange kapasitive metoder krever komplisert og dyrt utstyr og har hittil vært lite praktisk å bruke på byggeplass, men det er i gang en utvikling mot enklere og rimeligere utstyr.

Det fins imidlertid noen billige typer på markedet som kan brukes til å *indikere* fukt i overflaten. En slik type er vist i figur 3. Dette er også en viktig funksjon, spesielt ved skadeetterforskning, for raskt å få kartlagt fuktige områder. Man må bare påse at tallverdier e.l. ikke tillegges



stor vekt. *Fuktige* eller *mindre fuktige* områder bør være den gradering som brukes. Deretter kan man f.eks. bruke et RF-instrument til å bestemme fukttilstanden.



*Figur 3*  
*Kapasitiv fuktindikator*

Indikatoren i figur 3 er enkel i bruk. Man bare slår den på og kalibrerer den mot en metallplate. Deretter settes den ned på golvet og føres over flaten, mens man gir det et lett trykk for å sikre god kontakt. Erfaringene tilsier som nevnt at instrumentet vil kartlegge eventuelle fuktige områder under vanlige tynne golvbelegg og keramiske fliser. På ru flater er instrumentet derimot lite egnet da det ikke gir utslag ved dårlig kontakt. Man skal også være klar over at et fullt utslag (rødt område på skalaen til *dette* instrumentet, andre instrumenter kan ha en annen type skala eller digital avlesning) ikke nødvendigvis betyr at underlaget er for fuktig. På betong f.eks. kan instrumentet gi utslag selv om betongen er tørr nok. Det er helhetsvurderingen av golvet (f.eks. indikasjon på skader) som bør avgjøre om man skal ta fuktprøver der hvor indikatoren viser rødt.

Kapasitive metoder er vel egnet til å kartlegge fuktige og mindre fuktige partier på en flate. Dette kan f.eks. være et betonggolv hvor man leter seg frem til steder som vil være aktuelle for prøveuttak. Den kan også benyttes til sjekke om fukten har en viss utbredelse f.eks. i en vegg i badets dusjsone.

### **Relativ fuktighetsmålere (RF-metoden)**

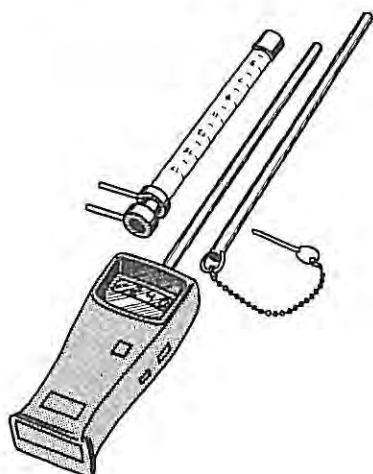
Når et porøst materiale stenges inne i en tett beholder, vil det etter hvert bli likevekt mellom fukten i materialet og beholderluften. Normalt vil luftvolumet i beholderen i liten grad påvirke måleresultatet. Derfor vil beholderluften bli like fuktig som luften i materialets porer. Ved å måle den innestengte luftens relative fuktighet eller kondenspunkt, får man et mål på materialets fukttilstand under forutsetning av at dette befinner seg i det hygroskopiske området dvs. < 100 % RF.

Det fins en rekke typer utstyr for måling både av relativ fuktighet og duggpunkt. Kvaliteten har vært varierende, men i dag synes de fleste produsenter å ha kommet fram til stabile og tilstrekkelig nøyaktige instrumenter for måling av fukt i golv. Man må bare være oppmerksom på at selve fuktfølerne har en beregnet levetid på noen få år (jr. leverandøren om forventet

«livslengde») og er avhengig av en systematisk kalibrering og korrelasjon for å kunne fungere etter forutsetningen.

De vanligste duggpunktgiverne har et speil hvor temperaturen endres. En indikator registrerer om det dannes dugg på speilet. Er det duggfritt, senkes temperaturen til det dugger. Temperaturen når det dugger, er duggpunktet eller kondenspunktet. De instrumenter Byggforsk har fått anledning til å se nærmere på, er fremdeles litt kostbare og kan kanskje være unødvendig nøyaktige ved vanlig kontroll på en byggeplass, men i forskningsøyemed eller ved tilsvarende arbeid vil de være vel egnet.

De mest vanlige RF-givere baserer seg på at fuktendringene i et materiale vil endre de elektriske egenskapene. Dette utnyttes ved å måle motstandsendringer eller endringer i kapasitans i tynne filmer eller salter av hygroskopiske materialer. Disse følerene bør være så små som mulig for ikke å «stjele» fukt fra luften og dessuten oppnå likevekt med den omgivende luften så fort som mulig. Ved å kalibrere i kjente klima kan de elektriske signalene (kapasitans- eller motstandsendringer) omsettes til relativ fuktighet. Nøyaktigheten kan bli svært bra (ca.  $\pm 2-3$  % RF på nykalibrerte instrumenter). Som oftest er det også en temperaturføler innebygd i slike instrumenter. Figur 4 viser et eksempel på slikt instrument.



Figur 4  
Instrument for måling av relativ fuktighet

RF-instrumenter kan brukes for å bestemme fukttilstanden i de fleste materialene og konstruksjonene. Da det er dette prinsippet som er hovedtemaet i dette foredraget, vil både fordeler og ulemper bli mer inngående behandlet i det etterfølgende.

### 3 PROSEDYRE VED BYGGFORSK FOR KALIBRERING OG MÅLING ETTER RF-METODEN

De vanligste måtene å kalibrere RF-instrumenter på er enten å plassere føleren i luften over mettede saltløsninger eller over løsninger av samme salt, men forskjellig densitet. Den første metoden benytter Byggforsk i sine kalibreringskar/rør, mens den andre kan være ampuller til engangs bruk i f.eks. Rotronic kalibreringsbokser.

Saltløsninger for kalibrering kan man få fra leverandører av RF-instrumenter. For Byggforsk har det mest praktiske vært å kjøpe de aktuelle salter og lage løsningene selv. Salter kan kjøpes av firma som driver med kjemiske produkter.

### Framstilling av saltløsninger

Her har vi laget mange varianter gjennom årene. Løsningene har vært fra grøt til at det ligger noen saltkorn igjen på bunn av reagensrøret, dvs. løsningene har vært mettet. Blandingene er blitt utført ved å varme opp løsningen og la den avkjøles eller røre rundt i timevis med magnetutstyr. Vi har også kun blandet salt og destillert vann ved en lett røring. Det har ikke vært noen markant forskjell i kalibreringsverdi mellom blandingene [3].

Alder på løsningen har heller ikke påvirket resultatet. Det er imidlertid stilt spørsmål ved urenheter, f.eks. at støv m.m. er kommet ned på løsningen. Vi har ikke sett noen forskjell, men for sikkerhets skyld bør saltløsninger kontrolleres ved visse intervaller. Løsninger som viser feil eller er urene kastes.

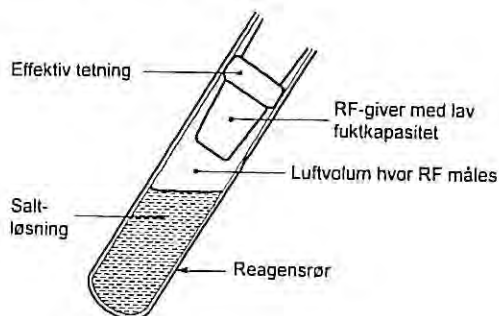
I dag lager vi saltløsningene ved å blande avionisert vann og salt ved kun å røre dette sammen. Vi tilsetter så mye salt at det blir liggende utfelt salt på bunnen av reagensglasset. Derved er vi sikre på at løsningen er mettet.

### Aktuelle saltløsninger

I vedlegg 1 og 2, samt i [2], er det angitt den RF som fås over forskjellige mettede saltløsninger ved ulike temperaturer.

### Kalibrering

De vanligste måtene å kalibrere (sammenlikne med en kjent størrelse) RF-instrumentene på er enten å plassere føleren i luften over mettede saltløsninger eller over løsninger med samme salt med forskjellig densitet. Den fukttilstanden som luften i et tett kammer med en mettet løsning av f.eks. natriumklorid (NaCl) får, er 75,4 % RF og f.eks. lithiumklorid (LiCl) 11,4 % RF ved 20 °C. Kalibreringsprinsippet er at løsningen plasseres f.eks. i et reagensrør sammen med føleren, se figur 5. Dersom instrumentet er riktig, vil det avleses en RF som er lik RF over den mettede saltløsningen med en viss toleranse, f.eks.  $75,4 \pm 2 \%$ . Ved å bruke løsninger som gir ulike RF, kan følerenes kalibreringskurve fastlegges.



Figur 5

Prinsippkisse for måling av relativ fuktighet i reagensrør

Som nevnt tidligere, skaffer leverandører av RF-instrumenter saltløsninger til bruk for kalibrering. Det er viktig at man bruker disse til å kalibrere instrumentet etter visse bruksintervaller. En enkel kontroll vil være å kalibrere mot en saltløsning som ligger nær det fuktområdet hvor instrumentet brukes mest, f.eks. området 80 – 95 % RF. Dersom avviket er stort, må kalibreringskurven justeres. I et slikt tilfelle må også hele måleområdet sjekkes. Kalibreringsintervallene er avhengig av bruken, men bør alltid foretas minst 4 ganger i året.

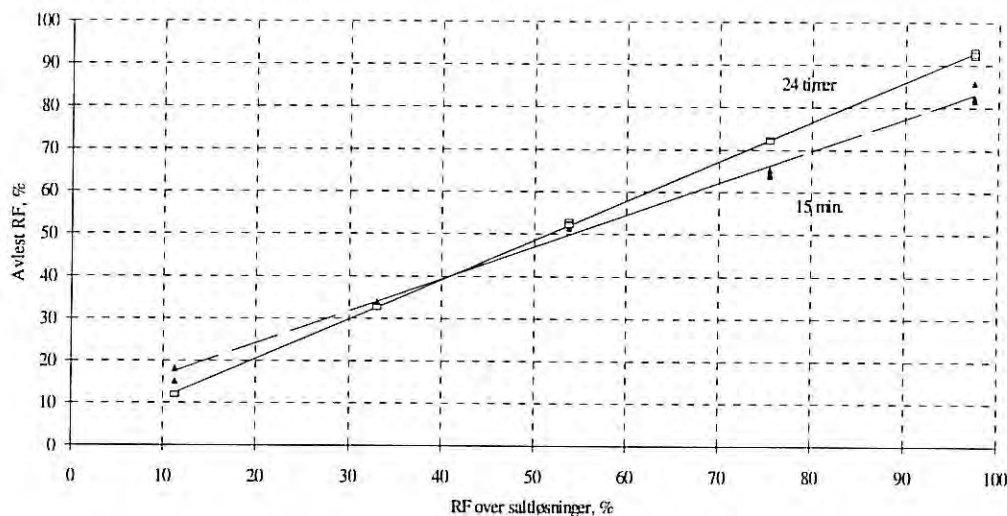
### **Responstid og temperatur**

Hvor nøyaktig et resultat skal bli, avhenger bl.a. av måletiden, dvs. den tiden føleren står i reagensglass eller målehull. Man bør derfor kontrollere de responstidene produsentene oppgir, fordi disse dataene bl.a. kan være fremskaffet under andre forhold enn under målinger ved Byggforsk [3]. Foruten måletiden er det en forutsetning at instrumentet er temperaturstabilisert før relativ fuktighet avleses. Det blir feil resultat dersom instrumentet tas med fra et kaldt til et varmere sted og benyttes der umiddelbart. Et annet forhold er at under stabile forhold vil givene stille seg raskt inn ved måling i romluft, mens det vil ta lengre tid i reagensglass og borehull.

Forsøk [3] har vist at det for en type RF-instrument bare tar ca. ½ time før givene er stabil i romluft, mens det tar ca. 15 timer i reagensglass (omtrent like lang tid vil det ta i borehull). Disse stabiliseringstider er bekreftet ved senere forsøk, bl.a. i [5]. Den lange måletiden i «små rom» er en svakhet med metoden som man så langt ikke har løst. Våre forsøk i [3] viste imidlertid at dersom man aksepterer 2 – 3 %-prosent for lave verdier, kan avlesning foretas etter ca. 5 timer. Tidligere avlesning ved høy RF er ikke tilrådelig. Dette ble også bekreftet i [5].

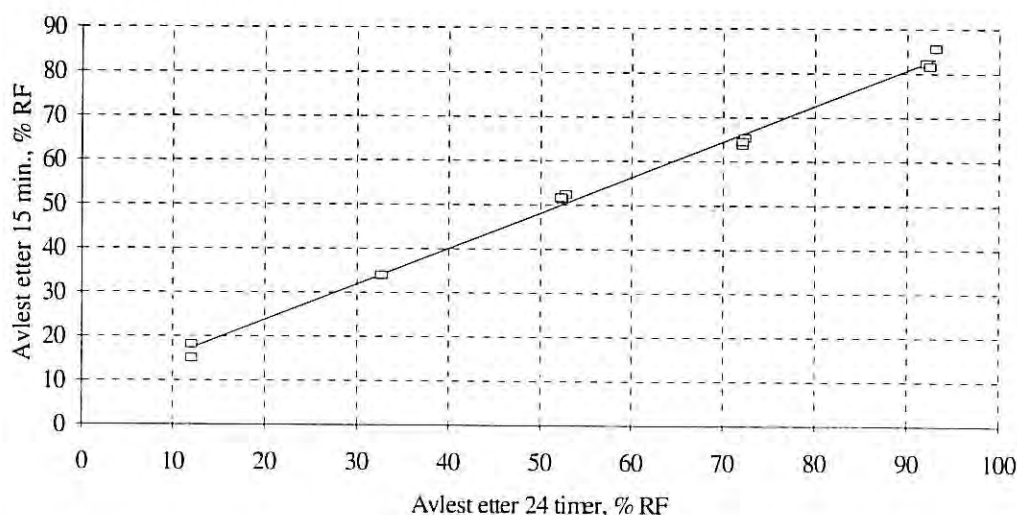
Vi har gjort forsøk på å korte ned responstiden ved å kalibrere instrumentet etter 15 min. og å foreta en avlesning i måleobjekt etter samme tid. Man mente at denne prosedyren kunne redusere måletiden. Våre første resultater viste at en slik framgangsmåte ikke er tilrådelig. En noe endret prosedyre har imidlertid gitt bedre resultat i laboratorium: Instrumentet plasseres i klimarom ved 50 % RF til stabil avlesning (mellom 15 min og 1 time) mellom hver gang det føres ned i et nytt kalibreringsmedium. Ved denne prosedyren fikk vi en relativ god «faseforskyvning» mellom resultater etter «riktig» måletid (24 t) og avlesning etter 15 min. Figur 6 viser dette.

Korrelasjonen (gjensidig avhengighetsforhold) var svært god for begge målinger, dvs.  $\sim 1$ , for dette instrumentet. Standardavviket var også lite, ca.  $\pm 2$  %-enheter for avlesning etter 15 min. og ca.  $\pm 0,5$  %-enheter etter 24 timer. Det er derfor mulig å lese av etter 15 min (måletiden må holdes!) og omregne dette til «riktig» verdi.



*Figur 6*  
Eksempel på kalibreringskurver for avlesning på en type RF-måler etter henholdsvis 15 min og 24 timer

Figur 7 viser et diagram for avlesning etter 15 min sett i forhold til «riktig» verdi etter 24 timer. På samme måte som vist i figur 6, blir resultatene etter 15 min for høye for klima  $< 50$  % RF og for lave for RF  $> 50$  % RF. Dette er også naturlig når stabiliseringsklimaet er 50 % RF.



*Figur 7*  
Forhold mellom avleste verdier etter 15 min og 24 timer

Figurene 6 og 7 viser at det er mulig i laboratorium å korte ned måletiden dersom man benytter et kjent stabiliseringsklima (f.eks. 50 % RF) og nøyaktig måletid (f.eks. 15 min). Med bakgrunn i forsøk i [5] ble det konkludert med at man da må benytte sensoren (føleren) uten



filter for å sikre et raskt fuktopptak. Det skal imidlertid bemerkes at Byggforsk for sikkerhets skyld normalt bruker 24-timers avlesning i laboratorium.

Ute i felten hvor forkortet måletid vil være mest aktuelt, kan målinger bli vanskeligere da man ikke har noe klart definert stabiliseringsklima der. En mulighet er da å ta med seg en kalibreringsampulle med saltløsninger som utøver ca. 50 % RF. Enkelte firma forhandler ampuller der saltløsningen er «innelukket» slik at bare fuktig luft kommer i kontakt med føleren. Disse er praktiske i felten da man unngår søl. Bruk av slike ampuller vil gi noe lengre stabiliseringstid i forhold til romklima, men vil være betydelig kortere enn måling av RF etter vanlig prosedyre. Målinger må foregå ved stabile temperaturer over + 5 °C. Dessuten må både instrument og konstruksjonen hvor fukten måles, ha samme temperatur. Med de varierende klimaforholdene som man har på byggeplass, vil det imidlertid uansett være stor usikkerhet knyttet til feltmålinger.

#### 4 VALG AV PRØVESTEDER

Valg av prøvested bør foretas i samarbeid med oppdragsgiver. Det er litt avhengig av oppdragets art hvordan prøvestedene skal velges. Ofte vil en befaring sammen med flest mulig av de berørte parter være gunstig. Derved vil det i ettertid ikke reises spørsmål ved hvor representative prøvestedene er. Det bør benyttes en plantegning hvor dette er mulig. Opplysninger om variasjoner i golvtykkelser (ulike uttørkingstider) bør også være tilgjengelig ved befaringen. Dette må man ta hensyn til ved valg av prøvested.

I mange tilfelle kan det være en fordel å benytte en fuktindikator (se pkt. 2) til å kartlegge fuktige områder og velge prøvesteder innenfor disse.

Under befaringen må det være klarlagt om det i et golv er elektriske varmekabler, vannbåren golvvarme e.a. som kan ødelegges ved prøveuttaket. Beliggenheten av varmerør og -kabel kan bestemmes med kontakttermometer eller termovisjonskamera, men man skal være klar over at dette utstyret, spesielt kontakttermometeret, ikke alltid avslører beliggenheten. Vi kan få overraskelser. Vær derfor spesielt forsiktig ved prøveuttak på slike golv.

Dersom årsaken til fuktprøvene er skader, f.eks. golvbelegg som blærer, må det velges prøvesteder som er mest mulig «urørt av menneskehender». Steder der belegget på forhånd er skåret opp eller på annen måte fuktteknisk «ødelagt», bør unngås. Stedene bør også normalt ikke ligge slik til at de har hatt gunstigere uttørkingsforhold enn resten av konstruksjonen. Man bør fortrinnsvis ta prøver både av skadde og uskadde partier.

Ofte vil oppdragsgiver at prøvene skal tas ved vegger eller på andre steder hvor vi vet at konstruksjonen ikke er representativ med hensyn til fukt. Slike prøvesteder må avvises med henvisning til at man får «verdiløse» måleresultater. Her kan det selvfølgelig gjøres unntak dersom disse stedene ønskes undersøkt av spesielle grunner.

Det er viktig å få lagt prøvestedene slik at måleresultatet kan bli representativt samtidig med at det blir minst sjenerende for bruker. Det skal ikke stikkes under en stol at prøveuttak vil medføre en del ødeleggelser samtidig med at bråket ved boring og meisling vil være ubehagelig for den som befinner seg i bygningen. Der det skal måles på stedet, skal det kun

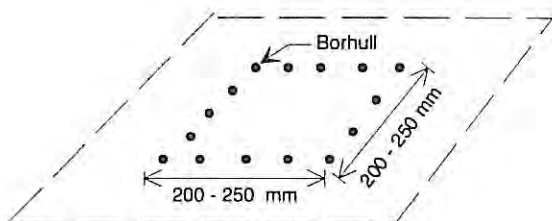
bores hull, noe som medfører både mindre støy og ødeleggelse. Problemene med følelse av ubehag kan imidlertid reduseres dersom man gjør oppmerksom på dette før man begynner og i størst mulig utstrekning viser hensyn til bruker.

### Antall prøvesteder

En skal uansett være klar over slike prøver vil være stikkprøver. Det vil medføre store kostnader og ødeleggelse å ta mange prøver. En bør derfor under vanlige omstendigheter nøye seg med et prøvested pr. konstruksjon – og historievariant (forskjeller i støpetider, herdebetingelser m.m.). Denne begrensningen gjelder mest der det tas ut prøver. Når det bores hull for måling på stedet, kan antall prøvesteder økes for bedre «dekningsgraden». Denne metoden vil imidlertid gi færre opplysninger pr. prøvested. (Vi får bl.a. ikke rede på fuktfordelingen i golvet ved denne prøvevarianten dersom man ikke borer hull ned til ulike dybder.)

## 5 PRØVEUTTAK FOR MÅLING I LABORATORIUM

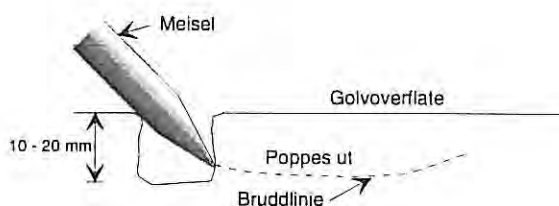
Til eksempel vil jeg velge en «golvkonstruksjon på grunn». Andre konstruksjoner vil med hensyn til prøveuttak ikke vil skille seg vesentlig fra denne. Etter at det er klarlagt at prøveuttaket ikke blir hindret av f.eks. varmekabler eller eventuelt tiltak er foretatt i den forbindelsen, bores hull gjennom golvet som vist i figur 8. Bordiameter ca. 20 mm. Det benyttes en stor slagdrill.



Figur 8

*Plassering av borehull ved prøveuttak*

Bakgrunnen for først å bore hull er at prøveuttaket lettes. Framgangsmåten vi også redusere temperaturøkningen i prøvestykket. Etter at hullene er boret settes en meisel i drillen. Partiene mellom hullene slås vekk slik at det dannes en fure som er 10 – 20 mm dyp. Midtpartiet poppes ut, se figur 9.

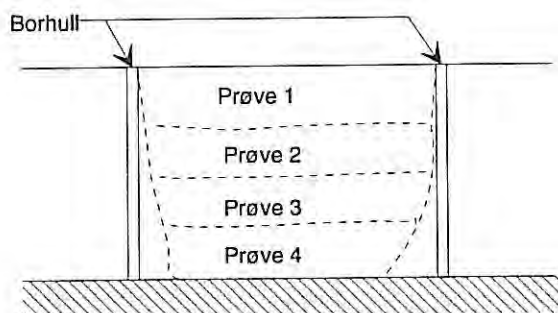


Figur 9

*Prøvestykkene mellom furene poppes ut*

Når prøvene hogges ut, vil en del av prøvestedet bli varmt. Dette vil kunne forstyrre fuktbalansen i prøven. Selv om denne forsiktigheten synes noe overdrevet, bør man for sikkerhets skyld unngå å bruke varme prøvestykker. Normalt vil de midtre delene av det prøvestykket som poppes ut, være kalde. Disse legges umiddelbart i en diffusjonstett emballasje, f.eks en plastpose for å hindre uttørking. For å kunne bestemme riktig fukttilstand, er det viktig at kun biter (ikke støv) som ikke er blitt påvirket av varmegangen ved prøvuttaket, brukes. Prøvemengden bør være minst 100 gram. Merk posen med en sprittusj (prøvens adresse og prøvedybde)

Etter at prøven er tatt ut, måles avstanden fra golvoverflaten og ned til midlere prøvedybde. Deretter renskes hullet slik at det blir noenlunde plant med golvflaten. Prøveuttaket fortsetter ved at det hogges en ny fure mellom hullene. Denne skal også ha en dybde på 10–20 mm. Det videre prøveuttaket følger prosedyren som er beskrevet foran. Figur 10 viser prinsippet. For å få bestemt fuktprofilet, må det av et 80–100 mm tykt golv tas minst 4 prøver. Det tas flere prøver av tykkere golv.



Figur 10

*Det tas ut flere prøver nedover i golvet*

Ved prøveuttaket skal man være oppmerksom på at på tross av de borede hullene, vil som oftest prøvehullet smalne av nedover slik de stiplede vertikale linjene i figur 10 antyder. Dette er årsaken til at prøven må være relativt stor i startfasen.

For golv på grunn tas det også prøver av eventuell isolasjon og avrettingslag e.a. som befinner seg under betongplaten. Avstanden fra golvoverflaten og ned til disse materialer bestemmes også.

Prøvene bringes til laboratoriet så raskt som mulig, helst samme dag. Normalt bør det ikke gå mer enn 3–4 døgn mellom prøveuttak og fuktmåling. Skulle det av ulike årsaker være nødvendig med lengre tid, må hver prøve legges i flere plastposer for i større grad å hindre fuktavgang. Forsøk her vist at med disse forholdsregler kan tiden mellom prøveuttak og måling økes til minst en uke.

## 6 FUKTMÅLING I LABORATORIUM

Ved Byggforsk blir prøvene normalt klargjort for å bestemme fukten etter både veie/tørkemethoden og RF-metoden. Materialet i en prøvepose betraktes i den forbindelse som likeverdige og kan fordeles på de to prøvemethodene. Med den første metoden måles materialets fuktinnhold som bl.a. kan benyttes til å bestemme den kapillære metningsgrad. Ved hjelp av metningsgraden kan man få klarlagt i hvilken retning fukten vandrer for prøver som er ~ 100 % RF. Om fuktinnholdet skal bestemmes, må vurderes i de enkelte tilfellene. Som oftest kan det være tilstrekkelig å måle RF alene.

### Fuktinnhold og kapillær metningsgrad

Dersom prøvebitene er små, vil det som oftest være praktisk å legge dem i boks e.l. som på forhånd er tarert. Det skal kun brukes biter uten støv. Bitene bør være så store som mulig. Total mengde bør helst overstige 100 gram. Boksene skal veies umiddelbart etter at bitene er tatt ut av plastposen og lagt i boksene (våtvekt), avlesningsnøyaktighet 0,01 gram. Deretter tørkes prøvene ved 105 °C til likevekt er oppnådd, erfaringsvis vil dette si 2 – 3 døgn. Prøvene tas ut av tørkeskapet og tørrvekten bestemmes. Dersom også den kapillære metningsgraden skal bestemmes, legges prøvebitene neddykket i vann etter at de er avkjølt. Ett til to døgn senere tas de opp av vannbadet og tørkes lett av med et papirhåndklede og veies.

Fuktinnholdet etter tørking og vannlagring bestemmes etter følgende:

$$\text{Fuktinnhold i vekt - \%} = \frac{\text{våtvekt} - \text{tørrvekt}}{\text{tørrvekt}} \times 100$$

der våtvekten er vekten etter henholdsvis prøveuttak og vannlagring.

Den kapillære metningsgraden bestemmes ved å dele fuktinnholdet etter prøveuttak på fuktinnholdet etter vannlagring.

### Relativ fuktighet

Det benyttes reagensrør med innvendig diameter 20 til 22 mm til å legge disse prøvene i. Til tetting brukes gummikorker. Representative biter av betongen tas ut av plastposen og knuses slik at disse får en størrelse som kan gå ned på reagensrøret. Bitene (ikke støv!) legges fortløpende ned på røret som tettes umiddelbart med korken. Reagensrøret fylles ca. 2/3 fullt. Dersom man har lite materiale, går det også bra dersom det fylles mindre, men det bør være minst 1 cm<sup>3</sup> med sementpastaen i røret.

Når det skal måles, stikkes RF-instrumentet ned i røret. Det skal stikkes så dypt at følerspissen berører prøvematerialet. Som oftest vil det være en fordel å benytte en hylse, se figur 14, men også en kork med hull for RF-føleren kan brukes for tetting.

RF-føleren skal stå i reagensrøret i minst 15 timer før RF og temperatur avleses.

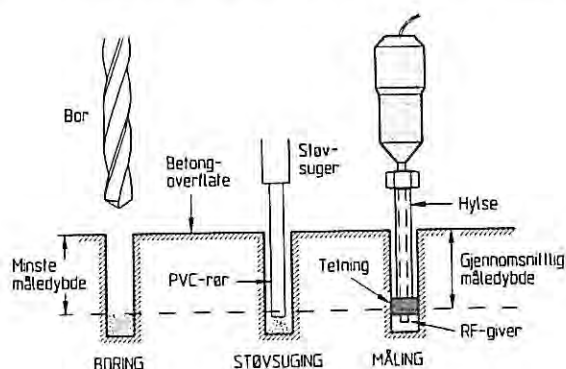


## 7 MÅLING AV RELATIV FUKTIGHET PÅ STEDET

Dette er målinger det knyttes størst usikkerhet til bl.a. fordi man vet for lite om temperaturens innflytelse på måleresultatet. Måling på stedet må derfor kun gjøres når det ikke er mulig å ta ut prøver i henhold til pkt. 5. Instrumentet må under ingen omstendigheter ha én temperatur og målestedet en annen ved at man f.eks. måler gjennom et isolasjonssjikt. Det skal i den forbindelses nevnes at i [8] angis det *at hver grads temperaturforskjell gir en feil på ca. 5 % RF*. Målesteder velges som beskrevet under pkt. 4.

### Forberedelser

Hullet bores til aktuell dybde, se tabell 1, støvsuges rent og forsegles f.eks. med en gummikork eller hylse med gummipakning (se figur 11 og 14). Korken bør fortrinnsvis avgrense og tette mot «målerommet». Dette er lettere med hylsen for i denne kan det plasseres en pinne som har samme diameter som fuktføleren (se figur 14) til tetting. Det kan være praktisk å benytte en batteridrevet støvsuger med «snabel» som er lett håndterlig.



Figur 11

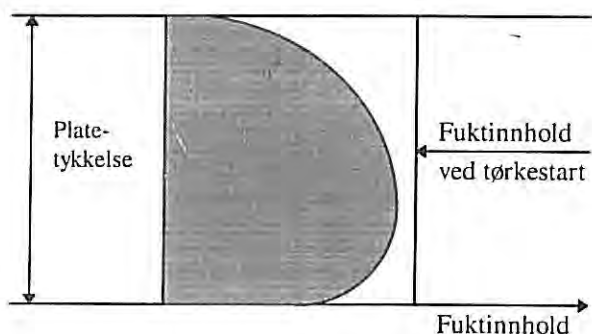
Måling i borehull på byggeplass

Tiden mellom boring og måling bør være minst en uke, se [1]. Dersom målingene utføres etter kortere tid, bør ved høyt måleresultat ( $RF >$  kritisk verdi) målingene gjentas etter minst en uke. Måling i nyboret hull gir ifølge [7] for høy måleverdi.

### Måledybder

Fukten i en betongplate uten overflatebehandling vil være ujevnt fordelt over platens tykkelse, se prinsippskissen i figur 12. Overflaten er som oftest ganske tørr, mens platen er fuktigst i midten. Dersom den også får mulighet til å tørke ut nedover (f.eks. et mellombjelkelag), vil også underkanten være tørrere enn i midten. Et golv på grunn derimot som ligger på en plastfolie, vil kun ha mulighet til å tørke oppover. Dette er det viktig å være klar over når fukttilstanden i et betonggolv skal måles.

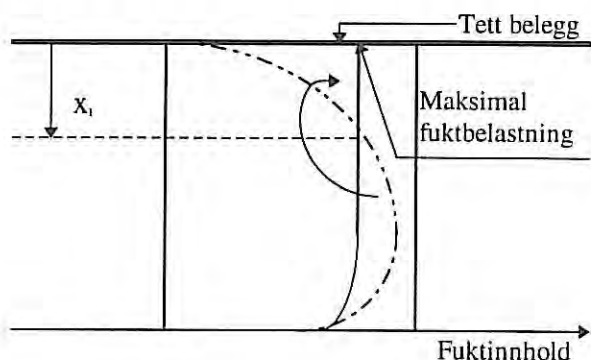




Figur 12

Prinsipiell fuktfordeling i en betongplate som får uttørring begge veier

Når det legges et tett belegg på golvet, hindres uttørringen oppover og en omfordeling av gjenværende fukt vil skje over tid, se figur 13. Den maksimale fuktbelastning på belegget vil etter at fukten er omfordelt tilsvare den fukttilstanden betongen hadde i en viss dybde før belegget ble lagt. Dette sjiktet vil ha omtrent samme fukttilstanden både før og etter omfordelingen av fukten, dvs. ingen uttørring eller oppfukting har skjedd. Fukttilstanden i sjiktet vil være større eller like stort som den maksimale fuktbelastning på golvbelegget.



Figur 13

Prinsipiell fuktfordeling etter fullstendig omfordeling av gjenværende fukt i golvet

En enkel måte å bestemme den maksimale fuktbelastningen på vil derfor være å måle fukttilstanden i dette *representative sjiktet* hvor fukttilstanden vil tilsvare den maksimale fukttilstanden etter omfordeling. Et slikt sjikt er markert på dybde  $x_1$  i figur 13. Beliggenheten av dette sjiktet er beregnet i [7]. Dersom fuktmålingen utføres i en dybde som minst tilsvarende som er angitt i tabell 1, vil man ifølge [7] få et resultat som ligger på den sikre siden.

Måledybden bestemmes av konstruksjonstypen. I konstruksjoner som får mulighet til å tørke ut til to sider (f.eks. mellombjelkelag) skal fukttilstanden bestemmes i ca. 20 % av konstruksjonstykkelsen. Dersom den får ensidig uttørring (f.eks. golv på grunn eller støp mot fastsittende stålformer), skal fukten bestemmes i en dybde tilsvarende 40 % av konstruksjonstykkelsen. Hulldiameteren skal være ca. 22 mm for de instrumentene Byggforsk bruker i dag.

Tabell 1

Minste måledybder i % av platetykkelsen

Konstruksjon	Minste måledyp i % av platetykkelse
Mellombjelkelag	20 %
Golv på grunn med underliggende plastfolie	40%

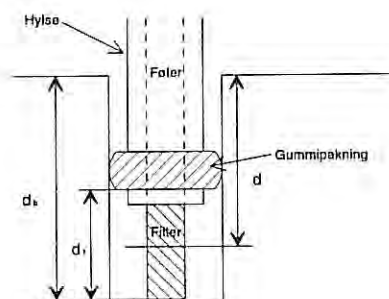
Hullene skal bores så dype at måledybden  $d$  vil være henholdsvis 20 % og 40 % av golvtykkelsen, dvs.:

$$d = d_b - \frac{d_r}{2}$$

der

$d_b$  er boredyp

$d_r$  er filterets høyde



Figur 14

Prinsippskisse av måledybde sett i forhold til følerens filter

Etter at hullet er boret settes det en kork eller hylse som vist i figur 14 i hullet. Fordelen med hylsen er at målestedet blir avgrenset. I ventetiden står det en pinne som tetting i hylsen.

### Normal måleprosedyre

Når det etter den foreskrevne ventetiden skal måles, erstattes pinnen i hylsen med fuktføleren. Om nødvendig isoleres føler og prøvested slik at de får samme temperatur. Føleren bør stå i målehullet i minst 15 timer. På byggeplass betyr dette at føleren må beskyttes med avsperringer e.l. slik at den ikke skades. Både RF og temperatur avleses.

### Forkortet måletid

Ute i felten vil det som oftest være behov for å utføre hurtigere målinger enn hva som ideelt er ønskelig. Prosedyren som er omtalt under *Responstid og temperatur* i pkt. 3 er følgende:

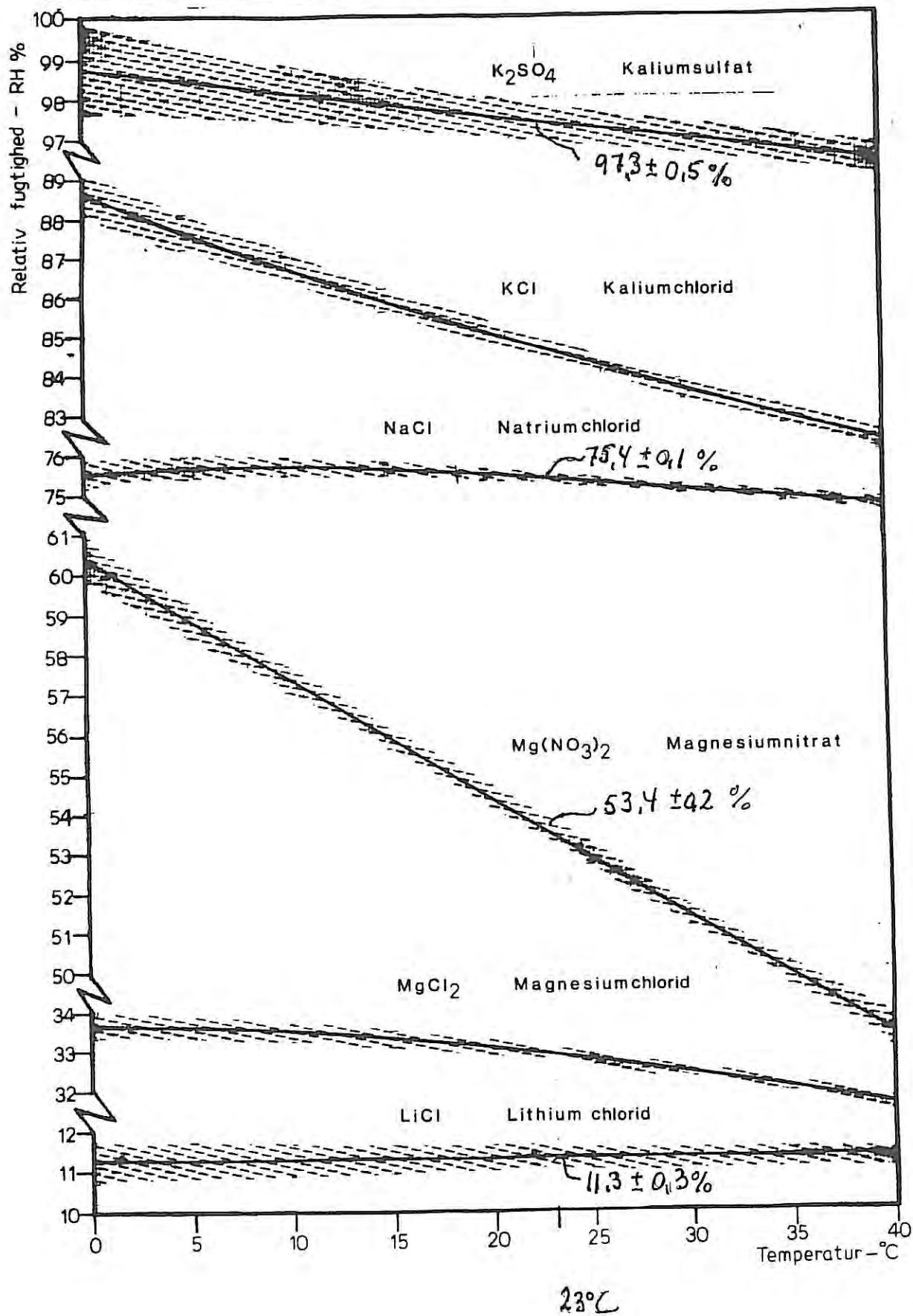
Først temperaturstabiliseres RF-føleren på prøvestedet. Temperaturen på stedet må være stabil og over 5 °C. Deretter plasseres den i en kalibreringsampulle med en saltløsning, f.eks.

magnesiumnitrat  $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$ , som gir ca. 54 % RF. Enkelte firmaer forhandler ampuller der saltløsningen er «innelukket» slik at bare fuktig luft kommer i kontakt med føleren. Det er praktisk å bruke disse da man unngår søl. Etter stabil avlesning i ampullen, fjernes pinnen i hylsen og føleren settes ned. Den avleses etter 15 min. Deretter plasseres den på nytt i kalibreringsampullen til ny stabil avlesning før det måles i et nytt prøvehull.

## 8 HENVISNINGER

- [1] Nordtest methods: Concrete, hardened «Relative humidity measured in drilled holes», NT Build 439. 1995
- [2] Nordtest remiss nr. 548-85: Calibration of instruments for measuring the relative humidity using saturated salt solutions
- [3] Bakken, B. Måling av fukt i golv etter RF-metoden. Prosjektrapport 44. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1989
- [4] Waldum, A. M. og Bakken, B. Industriegolv av betong. Oppbygging, prosjektering, utførelse. Anvisning 36. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 1997
- [5] Aarseth, L. I. RF-måling i fuktig betong. Responstid og målenøyaktighet for syv måleinstrumenter. Arbeidsrapport 12. Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner. Norges byggforskningsinstitutt/Norges teknisk naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim, desember 1997
- [6] Nilsson, L. O. Fuktproblem vid betonggolv. Tekniska Högskolan i Lund. Lund 1977
- [7] Nilsson, L. O. Byggfukt i betongplatta på mark. Törknings- och mätmetodar. Del 1, 2, 3. Tekniska Högskolan i Lund. Lund 1979
- [8] Nilsson, L. O. Fuktmätning i betonggolv före läggning av fuktkänsliga ytskikt. AMA-nytt Mark – Hus 2/91.

RELATIVE FUGTIGHEDER OVER MÆTTEDE SALTOPLØSNINGER  
AFHÆNGIG AF TEMPERATUREN



## Vedlegg 2

## RELATIVE FUGTIGHEDER OVER MÆTTEDE SALTOPLØSNINGER

RH ved 20°C %	Salt	Navn-	$\frac{d RH}{dt} \frac{1}{°C}$	Blanding af mættet opløsning g salt pr. 100 ml H <sub>2</sub> O(t) t=temp	Bemerk!
3,8 ± 1,1	CsF	Cesium fluorid	-0,09	-0 H <sub>2</sub> O 367 (18) -1½ H <sub>2</sub> O 366,5(18)	
6,6 ± 0,6	LiBr	Lithium bromid	-0,05	-0 H <sub>2</sub> O 145 (4) 254 (90) -2 H <sub>2</sub> O 246,0(20)	
7,9 ± 0,5	ZnBr <sub>2</sub>	Zink bromid	-0,04	447 (20) 675 (100)	
9,3 ± 0,9	KOH	Kalium hydroxid	-0,25	107 (15) 178 (100)	
8,9 ± 2,4	NaOH	Natrium hydroxid	-0,13	42 (0) 347 (100)	
11,3 ± 0,3	LiCl	Lithium chlorid	-0,00	-0 H <sub>2</sub> O 63,7(0) 130 (95) -1 H <sub>2</sub> O 86,2(30)	
18,5 ± 0,1	CaBr <sub>2</sub>	Calcium bromid	-0,37	-0 H <sub>2</sub> O 142 (20) 312 (105) -6 H <sub>2</sub> O 594 (0) 1360 (25)	
18,6 ± 0,2	LiI	Lithium iodid	-0,20	-0 H <sub>2</sub> O 165 (20) 433 (90) -3 H <sub>2</sub> O 151 (0) 201,2(90)	
23,1 ± 0,3	KCH <sub>3</sub> COO	Kalium acetat	-0,09	253 (20) 492 (62)	
30,9 ± 1,3 (25°C)	KF	Kalium fluorid	-0,72	-0 H <sub>2</sub> O 92,3(18) -2 H <sub>2</sub> O 349,3(18)	
33,1 ± 0,2	MgCl <sub>2</sub>	Magnesium chlorid	-0,05	-0 H <sub>2</sub> O 54,25(20) 72,7(100) -6 H <sub>2</sub> O 167 367	
39,7 ± 0,6	NaI	Natrium iodid	-0,27	-0 H <sub>2</sub> O 184 (25) 302 (100) -2 H <sub>2</sub> O 317,9(0) 1550 (100)	
42,3 ± 0,3	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Kalium carbonat	,00	-0 H <sub>2</sub> O 112 (20) 156 (100) -1½ H <sub>2</sub> O 129,4 268,3(100) -2 H <sub>2</sub> O 146,9 331 (100)	
54,6 ± 0,2	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Magnesium nitrat	-0,30	-0 H <sub>2</sub> O -2 H <sub>2</sub> O -6 H <sub>2</sub> O 125	
59,1 ± 0,4	NaBr	Natrium bromid	-0,31	-0 H <sub>2</sub> O 116 (50) 121 (100) -2 H <sub>2</sub> O 79,5(0) 118,6(81)	
64,9 ± 3,5 (25°C)	CoCl <sub>2</sub>	Cobolt chlorid	-0,62	-0 H <sub>2</sub> O 45 (7) 105 (96) -2 H <sub>2</sub> O -6 H <sub>2</sub> O 76,7(0) 190,7(100)	
68,4*	CuCl <sub>2</sub>	Kobber chlorid	-0,01	-0 H <sub>2</sub> O 70,6(0) 107,9(100) -2 H <sub>2</sub> O 110,4(0) 192,4(100)	
69,9 ± 0,3	KI <sub>3</sub>	Kalium iodid	-0,21	-½ H <sub>2</sub> O 127,5(0) 208 (100)	
72,5 ± 0,1	SrCl <sub>2</sub>	Strontium chlorid	-0,33	-0 H <sub>2</sub> O 53,8(20) 100,8(100) -2 H <sub>2</sub> O -6 H <sub>2</sub> O 106,2(0) 205,8(40)	
75,4 ± 0,4	NaNO <sub>3</sub>	Natrium nitrat	-0,22	92,1(25) 180 (100)	
75,5 ± 0,1	NaCl	Natrium chlorid	-0,03	35,7(0) 39,12(100)	
79,2 ± 0,4	NH <sub>4</sub> Cl	Ammonium chlorid	-0,13	29,7(0) 75,8(100)	Base!
81,3 ± 0,3	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ammonium sulfat	-0,07	70,6(0) 103,8(100)	
81,7 ± 0,2	KBr	Kalium bromid	-0,17	53,48(0) 102 (100)	
85,1 ± 0,3	KCl	Kalium chlorid	-0,16	34,7(20) 56,7(100)	
86,9 ± 0,3	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Strontium nitrat	-0,37	-0 H <sub>2</sub> O 70,9(18) 100 (90) -4 H <sub>2</sub> O 60,43(0) 206,5(100)	
94,6 ± 0,7	KNO <sub>3</sub>	Kaliumnitrat	-0,18	13,3(0) 247 (100)	
97,6 ± 0,5	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kaliumsulfat	-0,06	12 (25) 24,1(100)	
97,9 ± 0,5 (25°C)	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Kaliumcromat	-0,16	62,9(20) 79,2(100)	



# YTTERVEGGER OG LUFTEDER, KALDE TAK

Siv.ing. Sivert Uvsløkk

## 1 INNLEDNING

Når det gjelder anbefalte prinsipper for oppbygning av vegger og tak, har det ikke skjedd store endringer de siste fem årene. Skjerpede krav til varmeisolasjon i den nye tekniske forskriften til plan- og bygningsloven og nye materialer medfører endrede vegg- og takkonstruksjoner. Men de samme hovedprinsippene bør fortsatt legges til grunn for å oppnå fuktsikre konstruksjoner.

For å unngå mugg- og råteskader må en bygge slik at minst én av vekstbetingelsene nedenfor *ikke* er oppfylt:

Vekstbetingelser for de viktigste mugg- og råtesoppene:

- Næring – det må være tre, trebaserte materialer, støv, e.l. til stede
- Fuktighet – relativ luftfuktighet, RF, må være over ca. 80 % for mugg og over ca. 95 % for råte
- Temperaturen må være mellom ca. + 5 °C og + ca. 40 °C
- Tid nok, der ovennevnte betingelser er oppfylt

Er det næring til stede, øker veksthastigheten sterkt både med økende relativ luftfuktighet, RF, og med økende temperatur opp til et optimalt nivå. Veksthastigheten er vanligvis størst ved RF over 95 % og ved temperaturer mellom 20 °C og 25 °C.

## 2 PRINSIPPER FOR Å OPPNÅ GOD FUKTSIKKERHET

Et alternativ er å unngå å bruke tre og trebaserte materialer, samt fjerne støv og skitt slik at soppen ikke får næring. Også da må en imidlertid holde fuktinnholdet nede på et visst nivå for å få full nytte av varmeisoleringen og for å redusere faren for korrosjon. Dette er en løsning som brukes for kompakte, varme tak, som omtales senere.

Hovedprinsipper for å oppnå god fuktsikkerhet for varmeisolerte vegger og tak av bindingsverk er å:

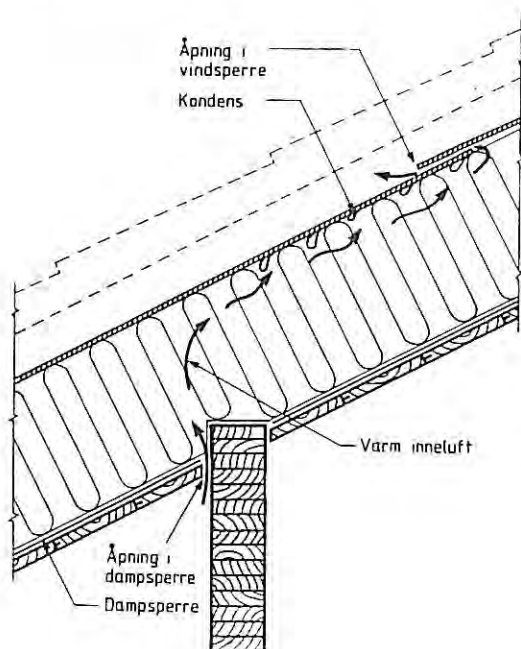
- begrense tilførselen av fukt utenfra – regn, slagregn og snøinndrev
- begrense tilførselen av fukt innenfra – vanndamp ved luftlekkasjer eller diffusjon
- begrense byggfukten – byggematerialenes fuktinnhold ved lukking av konstruksjonen
- gi konstruksjonene god uttørkingsevne

*Økt takutstikk* reduserer tiden kledning, vinduer og vindusomramning er våte på grunn av regn, dvs. våttiden. Det reduserer nedbrytningshastigheten for materialene og overflatebehandlingen, og dermed også vedlikeholdskostnadene.

Ved økende vind vil mer og mer av regnet treffe veggen, samtidig som vindtrykket over kledningen øker. Luftstrøm som river med seg regn gjennom omleggsskjøtene, er den viktigste lekkasjemekanismen for veggkledninger og diskontinuerlige takteknninger som takstein o.l.

Fukttransport via *luftlekkasjer*, også kalt fuktkonveksjon, er den transportformen som kan gi størst oppfukning av vegger og tak innenfra, se eksempel i figur 1. Fukttransporten ved luftlekkasjer fra inneluft og ut i konstruksjonen er bestemt av:

- samlet overtrykk inne på grunn av *vindtrykk*, *oppdriftstrykk*, og *ventilasjonsvifter*
- samlet *utetthet* i bygningsdelen og bygningen
- *fukttilskuddet*, som er forskjellen i fuktinnhold i inneluften og uteluften



Figur 1 Oppfukning ved luftlekkasjer skjer ved at varm og fuktig inneluft strømmer ut gjennom utettheter i tak og vegger hvor den blir avkjølt, slik at det felles ut kondens i de kalde delene.

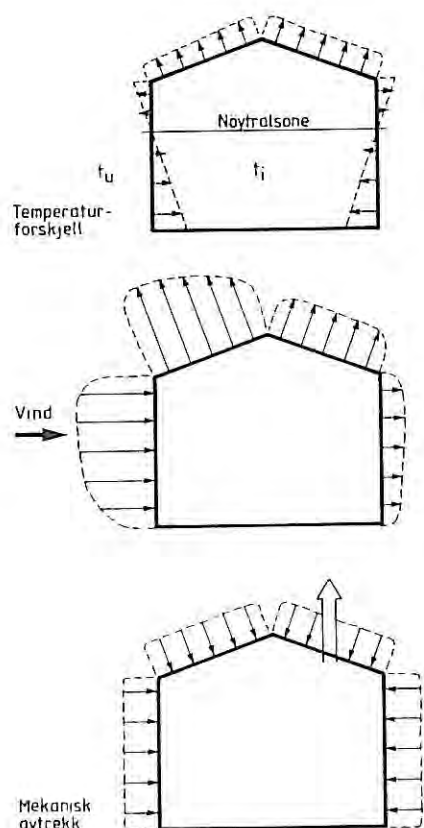
Selv om vinden kan forårsake de største trykkforskjellene, er det oppdriftstrykket som gir flest fuktskader, fordi dette trykket er der hele vintersesongen. Oppdriftstrykket er proporsjonalt med høyden og med temperaturforskjellen mellom inne og ute. Trykket er derfor størst når det er kaldest ute, og har sin maksimalverdi oppe ved taket. Det er hovedgrunnen til at oppfukning ved luftlekkasjer først og fremst er et problem i tak og øvre deler av ytterveggene, spesielt i hus med flere etasjer. Se figur 2.

I de nedre delene av en bygning er det vanligvis undertrykk inne, slik at uteluft lekker inn gjennom utette bygningsdeler. Det gir vanligvis en uttørkingseffekt, fordi luften kan ta opp mer fuktighet når den varmes opp på veien inn. Det forutsetter at luftstrømmen ikke trekker med seg regnvann eller fukt fra grunnen.

*Vanndamptransport ved diffusjon* er en velkjent transportform, der størrelsen på damptransporten er bestemt av:

- damptrykkforskjellen mellom inne og ute som igjen er bestemt av *fukttilskuddet*
- konstruksjonens *dampmotstand*

Fukttilskuddet,  $\Delta v$ , er gitt av uttrykket  $\Delta v = G/nV$  ( $\text{g/m}^3$ ).  $G$  ( $\text{g/h}$ ) er tilført fukt til inneluften,  $n$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$ ) er ventilasjonsgraden og  $V$  ( $\text{m}^3$ ) er husets volum. Fukttilskuddet kan holdes nede ved forskriftsmessig ventilasjon, som er enklest å oppnå med mekanisk ventilasjonsanlegg. Også husets brukere har stor innvirkning på fukttilskuddet, både ved regulering av ventilasjonen og ved tilførsel av fukt fra vasking, klestørk m.m. I en bolig med anbefalt ventilasjonsgrad på 0,5 luftvekslinger i timen vil fukttilskuddet normalt ligge mellom 2 og 3  $\text{g/m}^3$  i gjennomsnitt. Målinger av fukttilskuddet i eneboliger indikerer imidlertid at det vanligvis ligger mellom 2 og 5  $\text{g/m}^3$ . Lavt fukttilskudd reduserer oppfuktingen både ved luftlekkasjer og ved diffusjon og er en viktig betingelse for å unngå skader når dampspærren mangler eller er dårlig. Unødvendig høyt fukttilskudd er ofte hovedårsaken til overflatekondens på kalde flater, f.eks. nederst på glassruter og ved moderate kuldebroer.



*Figur 2 Trykkforskjeller over yttervegger og tak på grunn av termisk oppdrift, vind og mekanisk avtrekksventilasjon. Plasseringen av nøytralsonen, der trykket er det samme ute og inne, er avhengig av utetthetsfordelingen. Hvis det f.eks. er store utettheter ved golvnivå, vil nøytralsonen flytte seg nedover, og overtrykket ved taket øker. Mekanisk avtrekk er gunstig fuktmessig ved at det reduserer eller eliminerer overtrykket ved taket, og derfor minsker luftlekkasjene.*

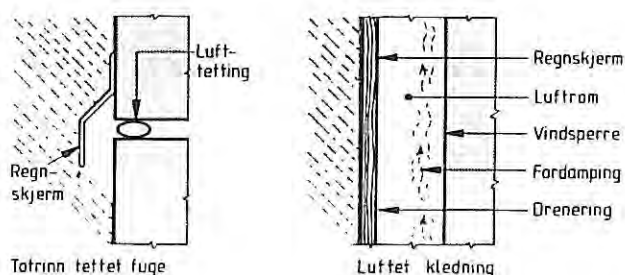
### 3 YTTERVEGGER

For å oppnå en fuktsikker bindingsverksvegg anbefales det å bygge den opp av følgende sjikt:

- utvendig kledning
- utlekting/luftspalte
- vindsperre
- bindingsverk/isolasjon
- dampsperre
- innvendig kledning

#### Utvendig kledning

Ved å skille regntettingen fra lufttettingen får en såkalt *to-trinns tetting*, som illustrert i figur 3. Prinsippet er viktig for å redusere oppfuktingen fra slagregn. Kledningen fungerer som regnskjerm som stopper det meste av regnet, mens vindtettingen ligger beskyttet lenger inne i konstruksjonen.



Figur 3 Prinsippet for to-trinns tetting

Kledningen bør avsluttes med en viss avstand til bakken slik at bordene eller de nederste bordene ikke blir oppfuktet av vannsprut fra regnvann som treffer bakken. Vanligvis er 150 mm avstand nok, men der det er mye slagregn, bør det være mer. For bordkledninger er endeveden spesielt utsatt, fordi den lettest suger opp vann. Bordene bør derfor overflatebehandles før skjøting.

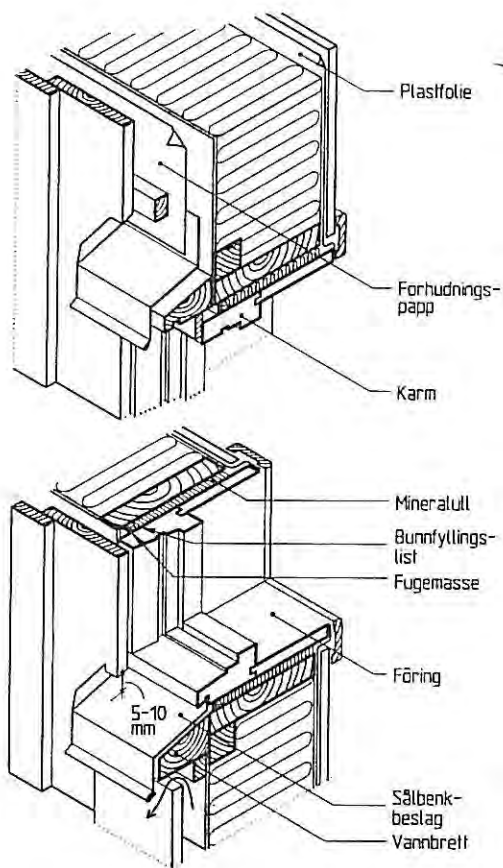
#### Luftspalte

Sammen med vindsperren bidrar luftspalten bak kledningen til å redusere trykkforskjellen over kledningen og dermed luft- og vannstrømmen gjennom omleggsskjøter og fuger. Luftspalten er nødvendig for at vann som kommer gjennom kledningen, skal kunne dreneres ned på baksiden slik at minst mulig ledes inn på vindsperren og isolasjonen innenfor.

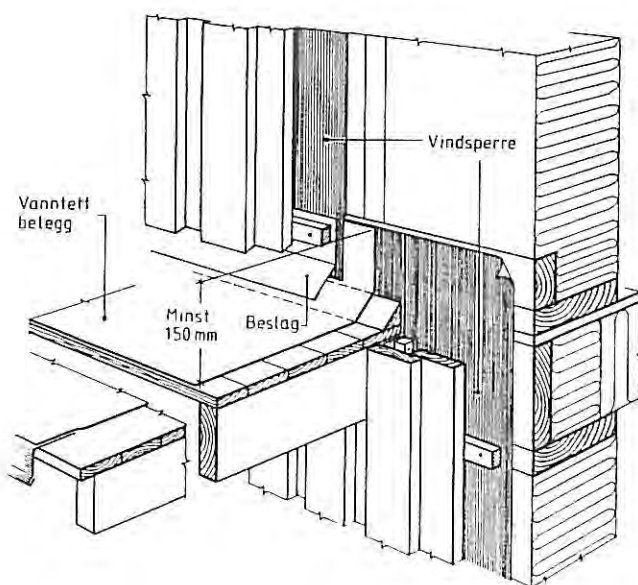
Luftspalten er også viktig for å gi konstruksjonen *uttorkingsevne*. For at kledningen skal kunne tørke opp etter regnvær, og for at fukt som er kommet ut gjennom den dampåpne vindsperren, skal komme videre ut av veggen, må det være *gjennomstrømning* av uteluft gjennom luftspalten. For å få gjennomstrømning også ved vindstille må en utnytte oppdriftstrykket i luftspalten. Det krever størst mulig høydeforskjell mellom inn- og utløp. For vegger betyr det spalteåpninger både nede og oppe. Erfaringer fra målinger i felten viser at det vanligvis er nok med en åpning tilsvarende noen mm sammenhengende spalte. For at regnvann skal kunne dreneres fritt ut bør imidlertid spalteåpningen være noe større.





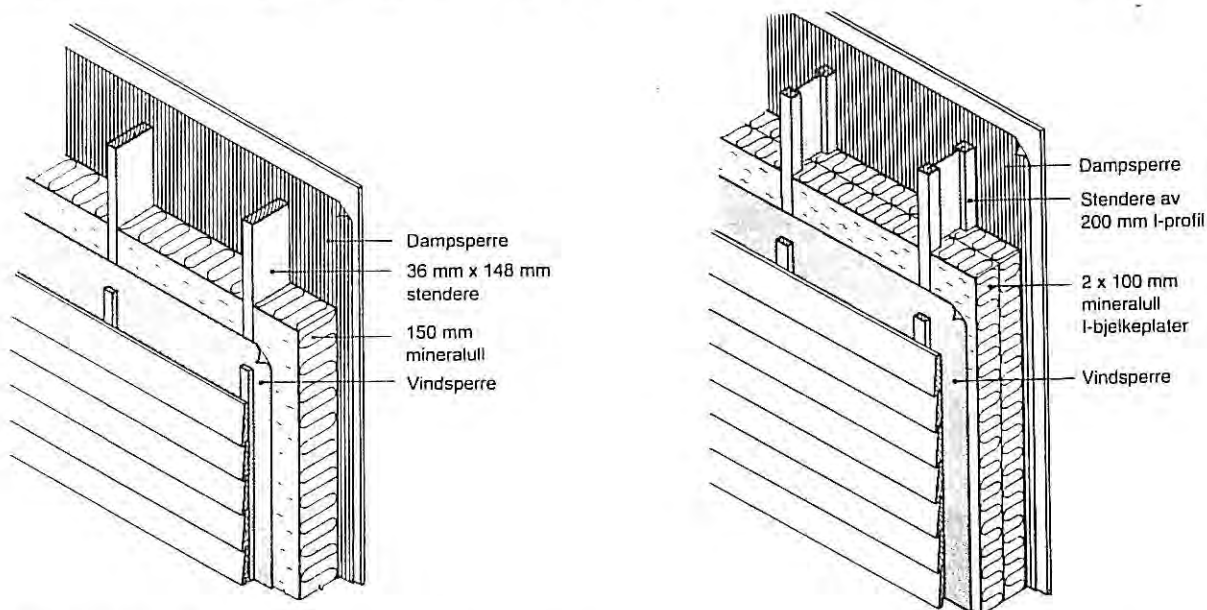


Figur 5 Eksempel på innsetting av vindu. Fugemassen plasseres mellom karm og bindingsverk, ikke mot platekanter. Sålbenbestaget bør avsluttes med oppbrett i begge ender slik at vann som presses inn av vindtrykket, ledes ut igjen og ikke inn i vegg. Det er spesielt viktig hvis vinduene plasseres et stykke inn i vegglivet.



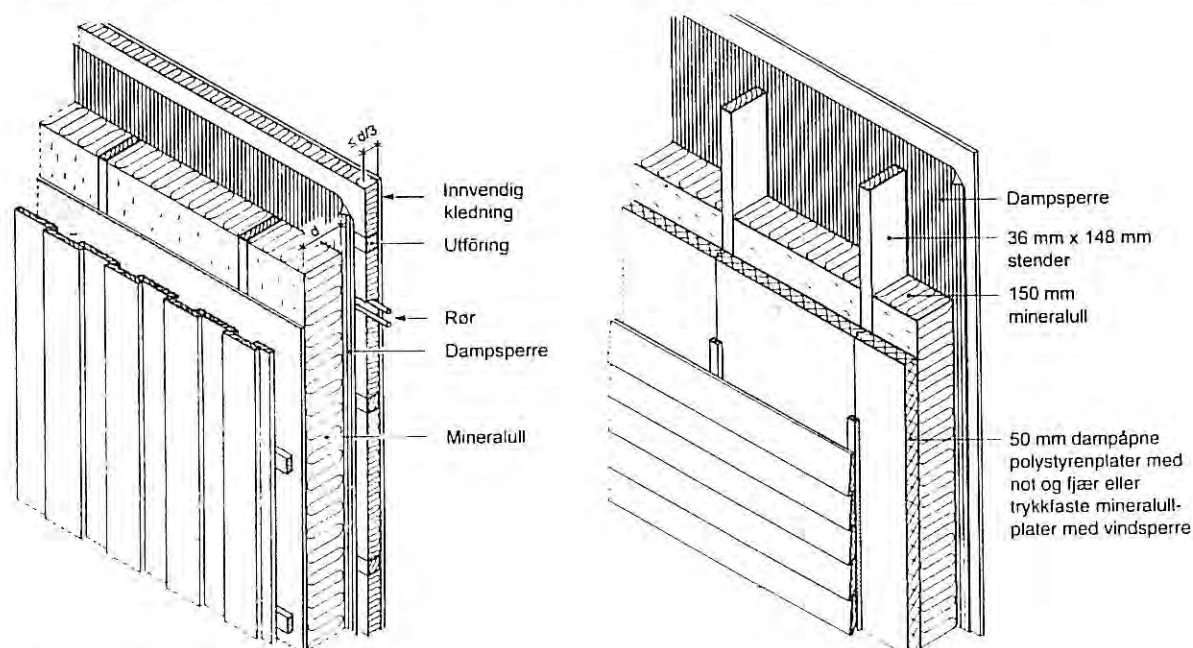
Figur 6 Overgang mellom vegg og balkong med tett golv. Underkanten på veggkledningen og dørterskelen bør være minst 100 mm høyere enn balkonggolvet.

Er isolasjonen tykkere enn 200 mm og mer, bør den legges i to lag med et lufttett sjikt imellom for å begrense konveksjonen. Det kan oppnås ved å bruke papirbelagt isolasjon i ett av lagene. For å oppnå god lufttetthet er 148 mm bindingsverk + 36 mm eller 48 mm innvendig fôring et godt alternativ. Dampsperran legges mellom de to isolasjonssjiktene og skjult elektrisk anlegg kan legges uten å perforere og ødelegge dampsperrsjiktets lufttetthet.



Figur 7 a og 7 b

- a. Enkel yttervegg med 148 mm isolasjon. Den vil i de fleste tilfeller tilfredsstillende de nye kravene i byggeforskriften hvis det brukes vinduer med U-verdi 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) eller lavere.
- b. Bruk av I-profiler eller kasseprofiler er et alternativ ved store isolasjonstykkelser.



Figur 8 a og 8 b

- a. Med inntrukket dampsperre kan skjult elektrisk anlegg monteres uten at lufttettheten ødelegges. Det anbefales å isolere tre ganger så mye på utsiden av dampsperran som på innsiden for å sikre at fuktinnholdet i treverket ikke blir for høyt.
- b. Stive isolasjonsplater utvendig hever temperaturen på treverket slik at det blir tørrere.

## Dampsperre

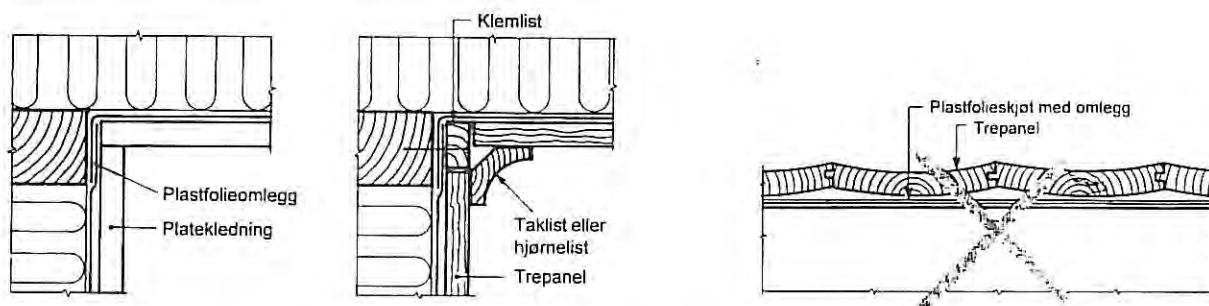
Dampsperrers hovedfunksjon er å gi konstruksjonen god lufttetthet.

En betingelse for å tilstrebe god lufttetthet er imidlertid at bygningen sikres god inneluftkvalitet. Det gjøres enklest ved å installere mekanisk til- og fraluftsventilasjon med varmegjenvinner som har høy virkningsgrad. Hele anlegget og kanalene bør ligge innenfor varmeisolasjonssjiktet, slik at risikoen for kondens og vekst av mikroorganismer i anlegget elimineres.

Dampsperran skal også gi konstruksjonen en viss dampmotstand på varm side av isolasjonen for å begrense vandampkonsentrasjonen og faren for høy RF lenger ute i vegg. Det anbefales at dampsperrans vandampmotstand tilsvarer minst 10 m stillestående luft (ekvivalent luftlagtykkelse) og at den er minst 10 ganger større enn dampmotstanden til vindsperran. Forsøk har vist at ved lav dampmotstand bør dette forholdstallet være enda større.

Et praktisk alternativ er polyetylenfolie. Folien leveres i store formater og muliggjør derfor montering med få skjøter. Man må bruke varianter som er bestandige mot varme og helst også mot UV-stråling. Det anbefales en tykkelse på 0,15 mm for at folien skal ha tilstrekkelig mekanisk styrke under monteringen. Dampmotstanden er langt større enn nødvendig, ca. 70 m ekvivalent luftlagtykkelse, men det medfører ingen fare så lenge tre og andre råtefarlige materialer ikke stenges inne mellom to damptette sjikt.

En ny type dampsperre med lavemitterende belegg, emissivitet  $\epsilon = 0,05$ , muliggjør redusert bruk av vanlig isolasjon. Sammen med en luftspalte på 30 mm gir den samme varmemotstand som 30 mm vanlig isolasjon klasse 36, fordi varmeoverføringen ved stråling blir sterkt redusert. Denne dampsperran vil være et interessant alternativ ved innvendig påføring og skjult elektrisk anlegg som nevnt foran. Både beregninger og målinger har vist at en veggoppbygning med 148 mm isolasjon, lavemitterende dampsperre, 30 mm – 48 mm hulrom og innvendig kledning tilfredsstillende forskriftens U-verdikrav på 0,22 W/(m<sup>2</sup>K) uten isolasjon i hulrommet på varm side av dampsperran.



Figur 9 Dampsperran må monteres med omleggsskjøter som klemmes mellom faste, plane materialer. Spikeravstanden bør være maks 150 mm. Trepanel og pyntelister gir ikke tilfredsstillende klemvirkning.

## 4 LUFTEDE, KALDE TAK

For skrå, luftede tak med isolasjon i takplanet er det to alternative oppbygninger; en tradisjonell med damp tett undertak og luftspalter, og en nyere og enklere med dampåpent, vindtett undertak og en luftspalte:

Tradisjonell oppbygning:

- tekning
- sløyfer/lekter/luftspalte
- damp tett og vanntett undertak
- sløyfer/lekter/luftspalte
- vindsperre
- bindingsverk/isolasjon
- dampsperre
- himling

Nyere, enklere oppbygning:

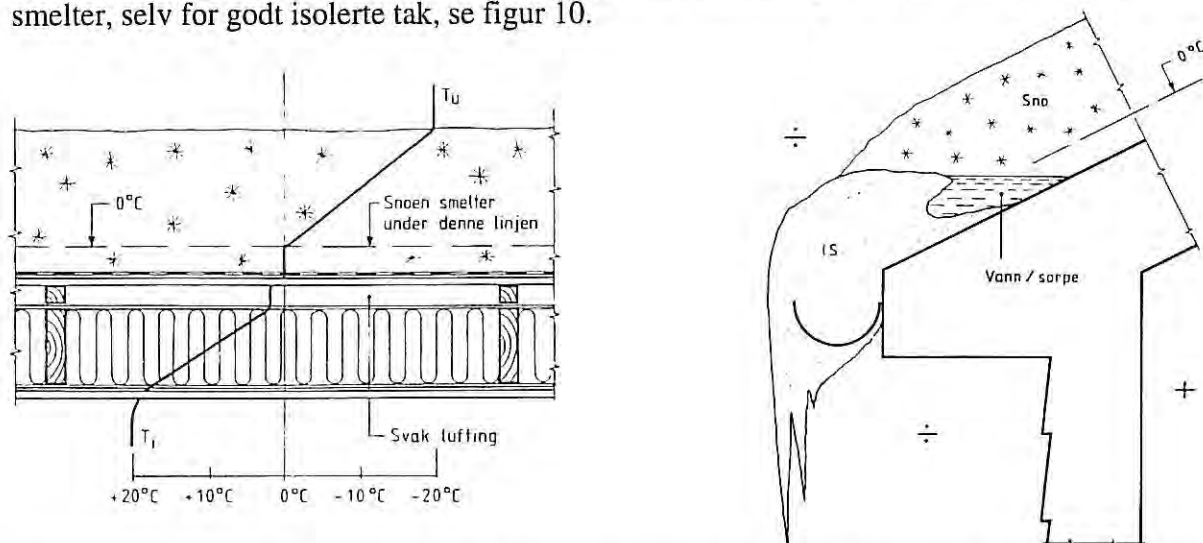
- tekning
- sløyfer/lekter/luftspalte
- dampåpent, vindtett og vanntett undertak
- bindingsverk/isolasjon
- dampsperre
- himling

### Tekning

Med tekningsprodukter som har riktig utformede omlegg med trykkutjevningkamre, vil det meste av regnet som blåser inn i omleggene felles ut og dreneres ut igjen. Likevel må en alltid regne med at noe regnvann og snø kommer igjennom og inn i luftspalten. Valg av tekning bør ses i sammenheng med valg av undertak. Desto mer nedbør som slipper gjennom tekningen, desto viktigere er det med et tettest mulig undertak og tilhørende detaljer.

### Luftspalte

I tillegg til å gi taket uttørkingsmulighet, som beskrevet for yttervegger, er luftspalten i tak nødvendig for å holde takflaten kald slik at en unngår snøsmelting og isingsproblemer på takutstikk og takrenner. Selv om varmestrømmen opp gjennom taket og dermed smeltefaren avtar med økende isolasjonstykkelse, kan en aldri isolere seg helt bort fra problemet. Lett nysnø isolerer godt. Temperaturen på en dårlig luftet taktekning blir fort så høy at snøen smelter, selv for godt isolerte tak, se figur 10.



Figur 10 Eksempel på temperaturfordeling gjennom en isolert takkonstruksjon med dårlig lufting, der snø som smelter, fører til isdannelse ved takfoten.



På tak med horisontal isolasjon og et sammenhengende luftet loft er det vanligvis lite snøsmelting og isingsproblemer. Forutsetningen er da at loftet ikke blir tilført varme på grunn av luftlekkasjer eller fra dårlig isolerte ventilasjonskanaler og anlegg.

Ved bruk av *dampåpne og vindtette undertak* er det nok med lufting i luftspalten under tekningen. Luftgjennomstrømmingen i luftspalten er avgjørende for å lede bort både fukt og varme. I vindstille vær er gjennomstrømmingen hovedsakelig bestemt av høydeforskjellen mellom inn- og utløp, det trangeste tverrsnittet i luftspalten og temperaturforskjellen mellom luften i spalten og ute. Tak med stor takvinkel får derfor bedre lufting enn tak med liten takvinkel. For luftspalten under tekningen er det minste tverrsnittet bestemt av sløyfehøyden. På enkle småhustak har erfaring vist at med sløyfehøyde 36 mm og vanlige steinlekter gir luftspalten under tekningen vanligvis tilstrekkelig lufting til å hindre isingsproblemer. For bratte tak kan sløyfehøyden være litt lavere, mens den bør økes for større takflater og ved lave takvinkler. Åpningene under mønepannene kan blokkeres av snø i perioder. Derfor er det viktig at det er lufteåpninger ved gavlene, spesielt nær mønet, for å utnytte kryssluftingen. Spalteåpningene bør plasseres under takutstikkene både ved gavl og raft slik at de ikke blokkeres av snø. For større tak kan det være nødvendig med en kontinuerlig lyre som stikker over snøen i mønet, for å få tilstrekkelig lufting.

Sammensatte takflater med fall mot en kilrenne er spesielt utsatt for isingsproblemer fordi det er vanskelig å sikre tilstrekkelig tilførsel av kaldluft fra raftet. Selv med høye sløyfer må en regne med noe ising på slike steder under ekstreme værforhold når isolasjonen ligger i takplanet. For øvrig må en alltid regne med snøsmelting og ising nedenfor takvinduer, samt nedenfor takhatter som styrer ventilasjonsluften ned på takflaten i stedet for oppover.

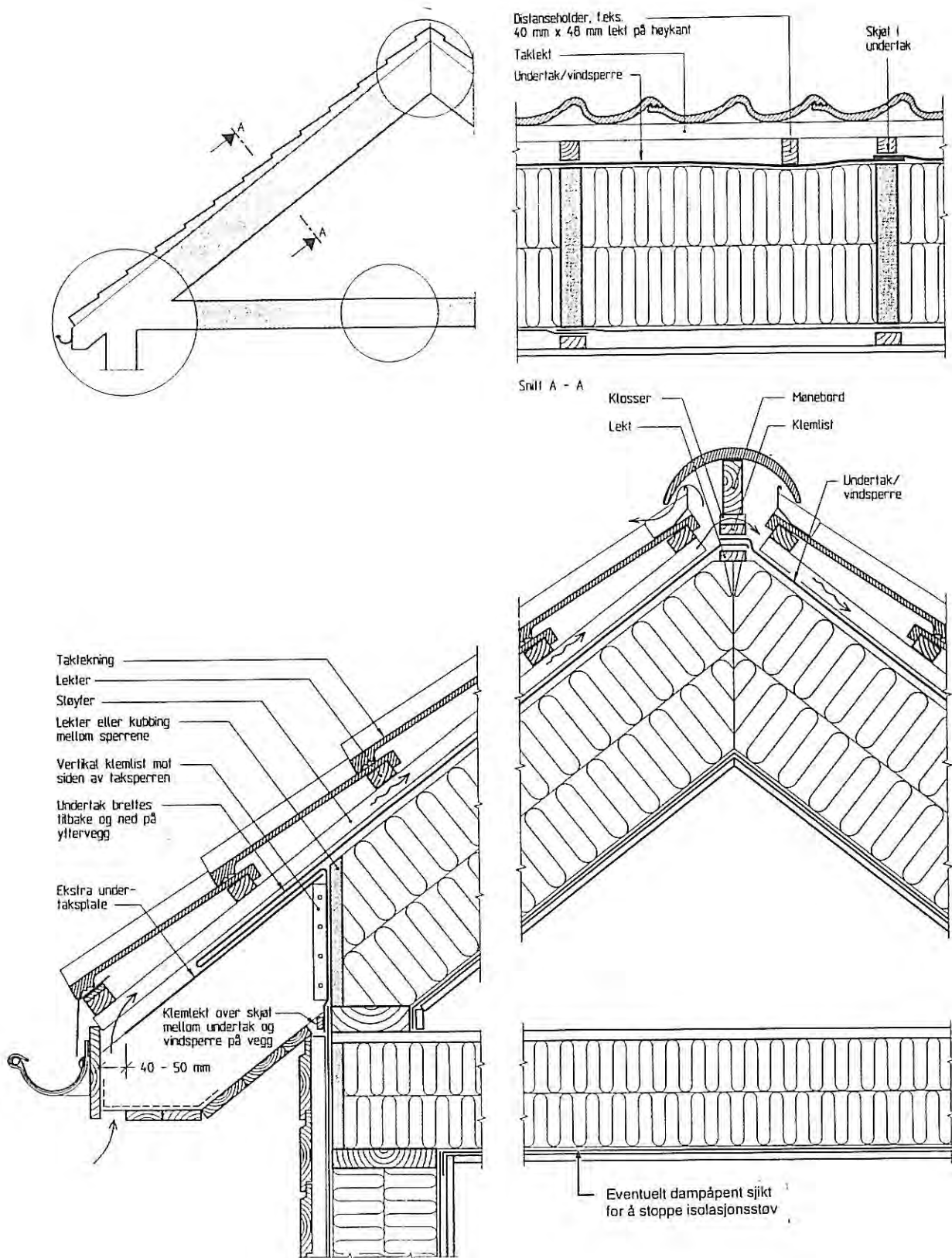
Tak med isolasjonen i takplanet og tradisjonelle, *damprette undertak* må ha en luftspalte også under undertaket. Det er helt nødvendig for å gi taket uttørkingsmulighet slik at det ikke råtner opp. På enkle takflater kan høyden på sløyfene under steinlektene da reduseres noe, men det anbefales at den ikke er mindre enn 20 mm, blant annet for å redusere faren for at spalten tettes av løv og annet rusk fra trær. Det gir dårligere lufting, men fører også til at sløyfer og lekter råtner opp fortere. Ved sammensatte takflater bør det være krysslufting i begge spaltene. Sløyfehøyden bør være som nevnt ovenfor for å redusere faren for isingsproblemer ved kilrennene.

### **Undertak**

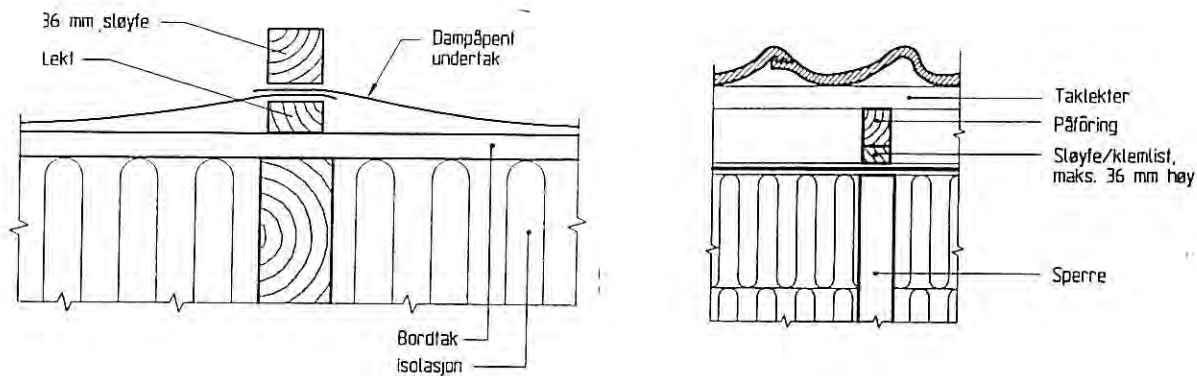
For diskontinuerlige takteknninger som takstein, profilerte metallplater o.l. anbefaler vi å alltid bruke et vanntett undertak, ettersom en må regne med at det vil drive inn noe nedbør gjennom tekningen, som nevnt foran. Undertaket må legges slik at nedbør som kommer inn gjennom tekningen, i overgangen mellom ulike forskjellige takflater, ved gjennomføringer eller driver inn gjennom åpningene til luftspalten, ikke lekker inn gjennom skjøtene eller gjennomføringer i taket, men blir fanget opp og ledet ut av taket.

*Dampåpne, vindtette undertak*, som ble tatt i bruk i midten av 80-årene, muliggjør en materialbesparende og enklere oppbygning av tak med isolasjon i takplanet, se figur 11 og 12. Isolasjonen monteres helt oppunder undertaket slik at hele sperrehøyden utnyttes og en sparer en luftspalte og egen vindspærre. Dette ene materialsjiktet må være både vanntett og dampåpent og lufttett. Foreløpig er det få produkter på markedet i Norge, men det forventes at det kommer flere etter hvert, blant annet fordi slike produkter blir stadig mer brukt også i andre europeiske land.





Figur 11 Isolert tak med dampåpent undertak og vindsperre i ett og samme sjikt og bare én luftspalte. Med distanseholder, som vist oppe til høyre, øker sikkerheten mot lekkasje ved at eventuelt vann ledes vekk fra omlegget.



Figur 12 a og 12 b

- Dampåpent undertak som tettesjikt på tradisjonelt bordtak. Dette er en god løsning ved kompliserte takformer og ved rehabilitering og isolering av gamle tak, hvor det er vanskelig å få til lufting under bordtaket. Ved å «dele» sløyfen blir skjøten tett, fordi den klemmes mellom plane flater, og omlegget heves slik at vann ledes vekk. Ved ombygging av tak må det gamle, dampette belegget fjernes.*
- På tak med større avstand fra raft til møne enn 7,5 m bør luftespalten økes ved å føre på sløyfene. Den nederste sløyfen skal fungere som klemlekt og må ikke være tykkere enn 36 mm, helst tynnere, slik at den kan føye seg etter underlaget og gi god klemvirkning.*

For at undertaket skal gi tilfredsstillende vindtetting må alle skjøter og klemmes eller gjøres lufttette på annen måte. Dagens produkter monteres derfor fra møne til raft uten tverrskjøter, men med omleggsskjøt som klemmes kontinuerlig mellom en sløyfe og en taksperre. Vanntettheten til disse skjøtene er et kritisk punkt. Hvis klemmingen er for dårlig, kan vann som renner nedover undertaket komme inn i og igjennom skjøten. Lekkasje-faren kan reduseres ved å gjøre undertaket vannavvisende på begge sider i omlegget og ved å presse undertaket noe ned ved omlegget som vist i figur 11. Dampåpne undertak gjør lufting og isolering mye enklere, spesielt ved kompliserte takformer og ved ombygging og etterisolering av kalde loft til oppholdsrom.

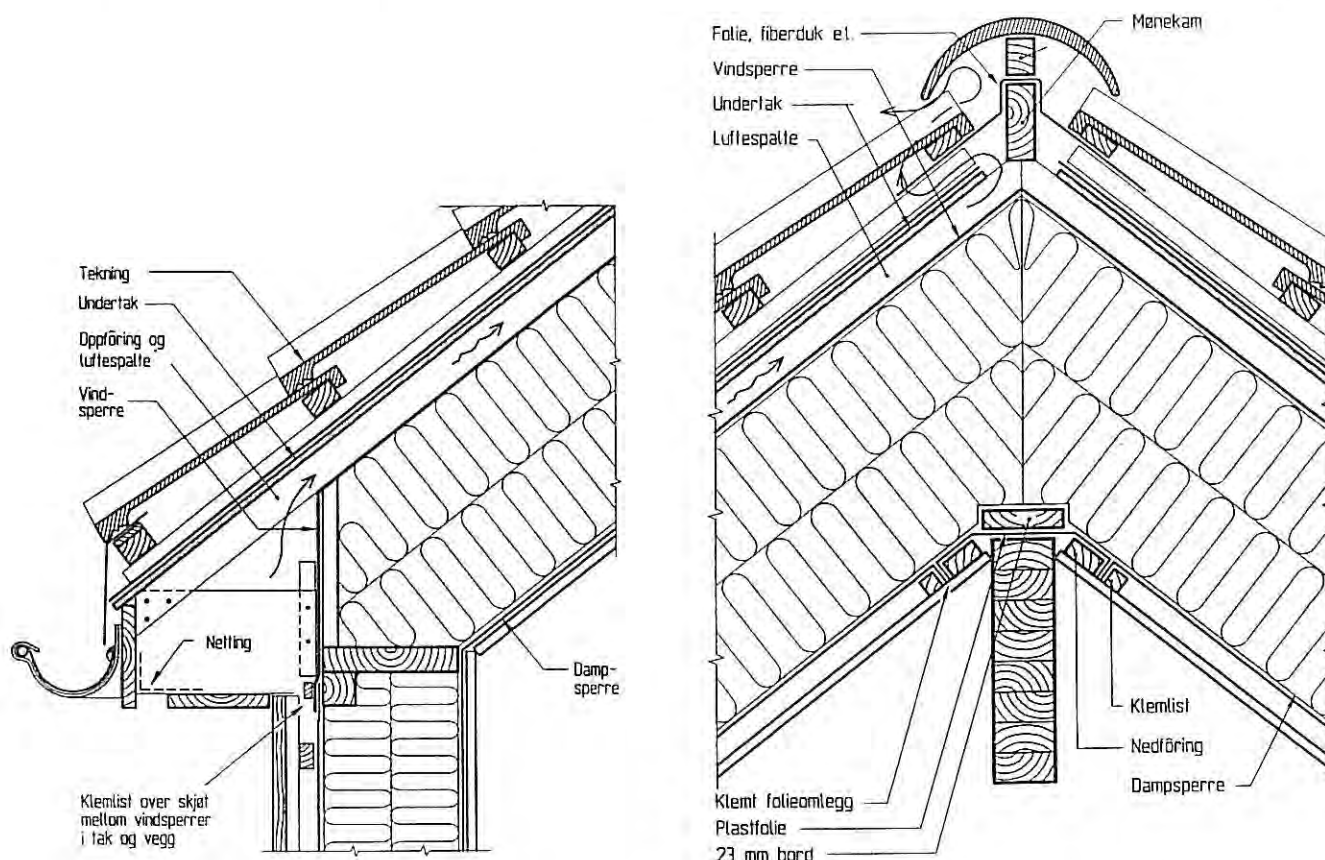
Forenklede undertak med åpne omleggsskjøter er utsatt for snøinndrev og må ikke brukes der det er fare for fokksnø.

### Vindsperre

Vindsperran har samme funksjoner i tak som i yttervegger, men bør i tillegg være noenlunde vanntett og monteres slik at eventuell nedbør som kommer gjennom undertaket eller blåser inn i spalteåpningene, ledes ut av taket igjen. Det er spesielt viktig for undertak med åpne omleggsskjøter.

For å oppnå god vindtetting i skråtak med isolasjon i takplanet er det en stor fordel å montere vindsperran på oversiden av taksperrene fra møne til raft, med klemte skjøter på taksperrene og uten tverrskjøter. Det gir en godt klemt skjøt for hver andre taksperre, mens montering nedenfra mellom taksperrene gir fire ganger så mange og vanligvis dårligere skjøter. Et tett vindsperrsjikt med tette overganger til vindsperran i veggene gir et viktig bidrag til hele takets lufttetthet og hindrer gjennomgående luftlekkasjer og oppfukning der den innvendige dampsperran ikke er helt tett. Ved å bruke et dampåpent undertak med gode skjøter som vindsperre, kan taket stå en tid før tekningen monteres.

A-takstoler med isolasjon i kneveggene og delvis oppvarmede rom på loftet er en varmeteknisk dårlig løsning. Årsaken er at det er vanskelig å få til et kontinuerlig og tett nok vindsperresjikt i de luftede kneloftene. Ved vind fører det til at det blåser uteluft fra kneloft til kneloft gjennom isolasjonssjiktet i bjelkelag og tak, noe som gir ekstra varmetap og kalde golv. Løsningen frarådes på steder utsatt for vind. For oppholdsrom på loftet anbefales det å bruke sperretak, det gjør både vindtetting og innvendig lufttetting mye enklere.



Figur 13 Tradisjonell oppbygning av tak med damptett undertak, to luftspalter og eget vindsperresjikt. Ved å kutte sperrene i vegglivet blir det enkelt å få til et kontinuerlig og tett vindsperresjikt i overgangen tak – vegg. Takutstikk på 0,5 – 0,6 m kan bygges med 50 mm oppføring når utstikket støttes horisontalt med gesimskasse, som vist her. Spalteåpningen i gesimskassen må plasseres lengst mulig ut fra veggen for å redusere faren for inndrev av regn og snø.

### Varmeisolasjon

Kravet til U-verdi for tak i den nye tekniske forskriften til plan- og bygningsloven, 0,15 W/(m<sup>2</sup>K), innebærer en isolasjonstykkelse på 250 mm for tak med horisontal isolasjon og takstoler, og fra 270 mm til 300 mm for skråtak med isolasjon i takplanet, avhengig av sperreprofil.

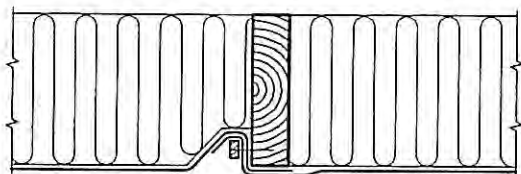
Den store isolasjonstykkelsen i tak medfører økt fare for luftstrømning i isolasjonssjiktet på grunn av termisk oppdrift, dvs. naturlig konveksjon. Ved horisontal isolering og sammenhengende luftet loft er det ikke nødvendig med vindsperre for å hindre anblåsning, men det øverste isolasjonslaget bør ha pålimt papir. Sammen med nøyaktig montering uten gjennomgående spalter vil det redusere faren for naturlig konveksjon i isolasjonssjiktet.

Når hele eller deler av loftet skal benyttes til oppholdsrom, anbefaler vi at isolasjonen legges i takplanet helt ned til raftet. Det gir best utnyttelse av isolasjonen, fordi isolasjonsarealet da blir minst. Det er gunstigst også med hensyn til brann. Det skyldes at treverket i taksperrene blir mindre eksponert, og den åpne veien til kneloftet via spalteåpningen blir eliminert.

### Dampsperre

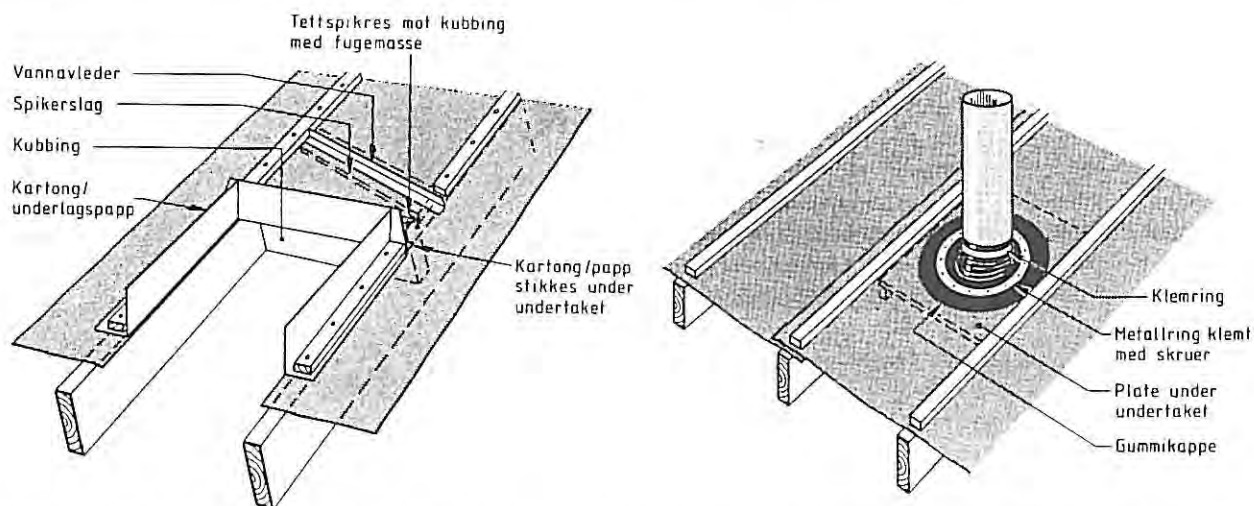
Det viktigste tiltaket for å hindre oppfukning av tak ved luftlekkasjer er å sørge for god lufttetting, ikke bare i taket, men med et kontinuerlig lufttett sjikt som også omfatter vegger og golv. I tak bør det brukes så stort format som praktisk mulig for å redusere antall skjøter, som er det svake punkt.

Ikke-bærende skillevegger må settes opp etter at isolasjon og dampsperre er montert kontinuerlig forbi. En må ikke installere skjult elektrisk anlegg eller taklamper som perforerer dampsperreren i tak. Det innebærer stor risiko for luftlekkasjer og fuktskader.



Figur 14 Dampsperre med skjot langs en taksperre. Best tetthet oppnår man ved å klemme omleggsskjøten med en egen klemmelist som kan spikres tett nok. Her er skjøten klemt mot siden av taksperreren slik at himlingen kan monteres direkte mot taksperrene uten skjemmende spikring

Faren for oppfukning ved *diffusjon* og krav til dampmotstand er helt de samme som for yttervegger. Mens luftovertrykket er størst oppe under taket, er damptrykket inne tilnærmet likt i hele husets høyde når det er en viss luftutveksling mellom rommene.



Figur 15 Gjennomføringer i tak. På oversiden av en åpning bør vannet ledes ut til siden til neste felt. Det kan gjøres ved hjelp av en lekt eller et stivt metallprofil som legges med fall og skrues godt til et fast underlag. For rørgjennomføringer fins det fleksible mansjetter av neoprengummi eller liknende. Alle gjennomføringer må utføres slik at det ikke blir stående vann på undertaket eller mot skjøtene.



### **Gjennomføringer**

En vanlig skadeårsak, spesielt når det er brukt forenklet, ikkebærende undertak, er dårlige løsninger med manglende tetting ved takgjennomføringer. For å få til sikre løsninger må det monteres inn nødvendig underlag for å kunne feste rør, takhatter og beslag, samt for å ha noe å klemme skjøtene i tettesjiktene mot. Det kan gjøres ved kubbing, eller aller helst ved å legge inn kryssfinér plater på lekter som er spikret til sperresidene, en som flukter med overkant sperre, som vist i figur 15, og en som flukter med underkant for klemming av dampspærren.

## **6 LITTERATUR**

Edwardsen, K. I. m.fl. 1997. Trehus. Norges byggforskningsinstitutt, Håndbok 45. Oslo

Byggdetaljer, Norges byggforskningsinstitutt:

Gruppe 523, Yttervegger

Gruppe 525, Tak

Mattsson, J. og Mohn Jensen, K. 1991. Biologiske skadegjørere i bygninger.

Kurskompendium, Mycoteam as. Oslo



# MURTE OG PUSSEDE FASADER

Siv.ing. Alf M. Waldum

## 1 BAKGRUNN

Murte fasader med eller uten puss er yttervegger som er kjent gjennom århundrer i vårt byggeri. Materialer, oppbygging og detaljutforming er imidlertid i stadig forandring som en følge av produktutvikling, nye forskrifter etc. I dette notatet er det skilt mellom fasader hvor mursteinen utgjør den endelige fasadeoverflaten, og vegger med puss/maling som en egen overflatebehandling. Under beskrivelsen av de ulike vegg-løsningene er det spesielt fokusert på spørsmål i tilknytning til utforming og detaljløsninger for å oppnå fuktsikre løsninger.

## 2 MURTE FASADER UTEN PUSS

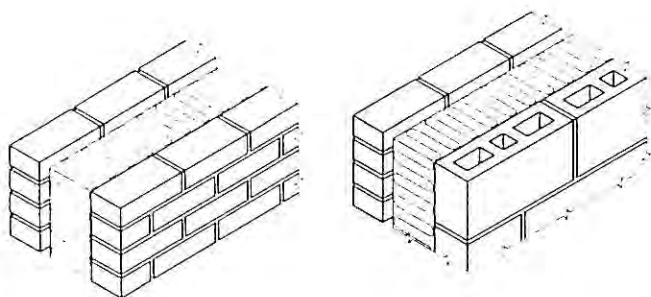
Murte fasader uten noen overflatebehandling betyr i dagens situasjon nesten alltid teglfasader, selv om det fins eksempler på at slike vegger mures i betongstein, naturstein eller kalksandstein. For alle slike murte vegger gjelder at det må stilles strenge krav til mursteinens og mørtelfugens bestandighetsegenskaper. I og med at teglstein i dag ofte velges uavhengig av hvor den produseres, er det naturlig å vie frostmotstandsevnen stor oppmerksomhet (stein produsert for andre klimaforhold blir for eksempel brukt i værharde strøk i Norge). Når det gjelder sikkerhet mot fuktskader, vil detaljer og praktisk utførelse være svært viktig.

### **Skallmurvegger, oppbygging**

En skallmurvegg bygges opp av to murte vanger som effektivt er skilt fra hverandre av et varmeisolerende og drenerende hulrom (figur 2 a). Mellom varmeisolasjon og ytre vange er det en luftspalte med bredde 15 – 20 mm, hvor vann kan ledes ned og ut gjennom drengåpninger i bunnen av den ytre vangen. Skallmurveggenes vanger bindes sammen med trådbindere eller lignende, som mures inn i de horisontale fugene. Forankringer dimensjoneres for opptredende vindlast. For trådbindere gjelder at materialet må være av rustfritt, kaldtrukket ståltråd med diameter minst 4 mm.

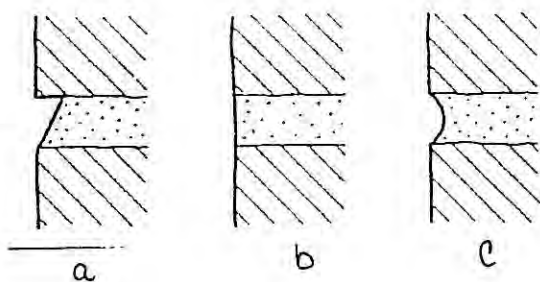
I lange vegger må det legges inn vertikale bevegesfuger for å ta opp horisontale bevegelser. Der det er praktisk mulig, bør bevegesfuger plasseres ved hjørner.

Den ytre vangen vil normalt utsettes for store slagregnpåkjenninger. Man må derfor stille strenge krav til selve murarbeidet og til materialvalget. Svært viktig for å få en ytre vange med god tetthet, er det at mørtelen er tilpasset steinens sugsevne slik at det oppnås god heft og at man murer med helt fulle og komprimerte fuger (figur 2 b). En må imidlertid alltid regne med at noe vann vil trenge gjennom den ytre vangen. For at ikke dette vannet skal ledes innover mot indre vange og gi fuktskader, må det ikke være mørtelsøl (broer av mørtel) i skjøtene mellom isolasjonsplatene, binderne skal ha fall ut mot ytre vange etc. Videre må avdeling over åpninger, detalj nede mot grunnmur etc. være riktig utført (se senere avsnitt). I lokaler med høy fuktbelastning (svømmehaller o.l.) vil det være riktig å behandle den innvendige overflaten med en fliskledning, eller en puss/maling med stor dampmotstand. Et mulig alternativ er å påføre en damp tett maling på innervangens ytterside, for eksempel en klorkautsjukmaling.



Figur 2 a Eksempler på skallmurvegger med vanger av:

- murstein av tegl eller betong
- murstein (yttervanger) og murblokk (innervange)

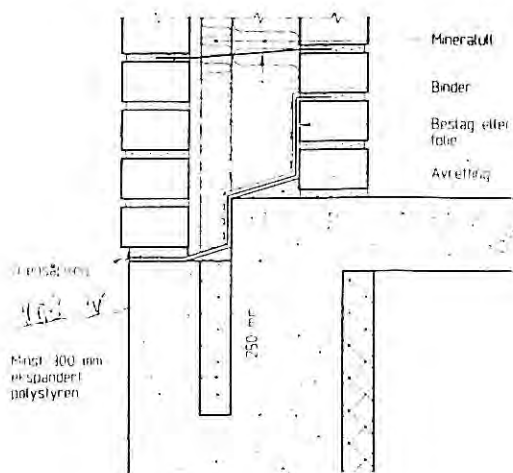


Figur 2 b Fugeformer som er egnet i værharde strøk

- a. Skyggefuge
- b. Glatt fuge
- c. Konkav fuge

### Viktige detaljer

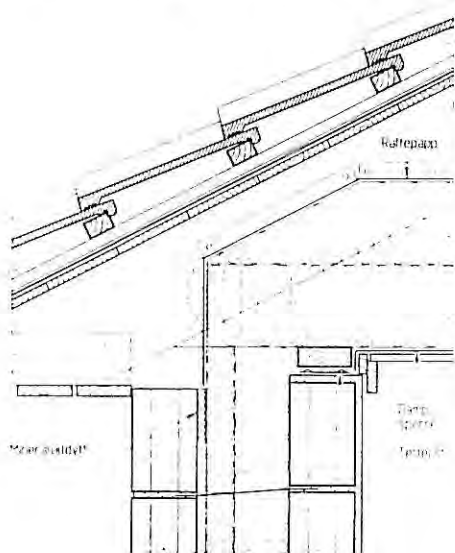
Som påpekt foran, er det helt avgjørende for skallmurveggs funksjon at detaljene er utført riktig ved tilslutning til andre bygningsdeler/komponenter som grunnmur, tak og vinduer. Nede mot grunnmur er det blant annet viktig å unngå kuldebro. For å samle opp og lede lekkasjevann ut av veggen, må bunnen av hulrommet avrettes med fall utover og dekkes med en egnet fuktsperre av bly, sveisbar folie av PVC kunstgummi eller tilsvarende (figur 2 c). Alle skjøter i sperresjiktet skal være helt tette. Fuktsperren har også en viktig funksjon som glidesjikt for å ta opp relative bevegelser mellom ytre murvange og underliggende konstruksjon. Den må derfor føres helt ut til murlivet.



Figur 2 c Sokkelløsning og støpt dekke

Gjennom ytre vange skal vann ledes ut via åpne stussfuger, innlagte plastrør eller lignende. Avstanden mellom drensåpningene bør velges ut fra slagregnpåkjenningene og veggens høyde.

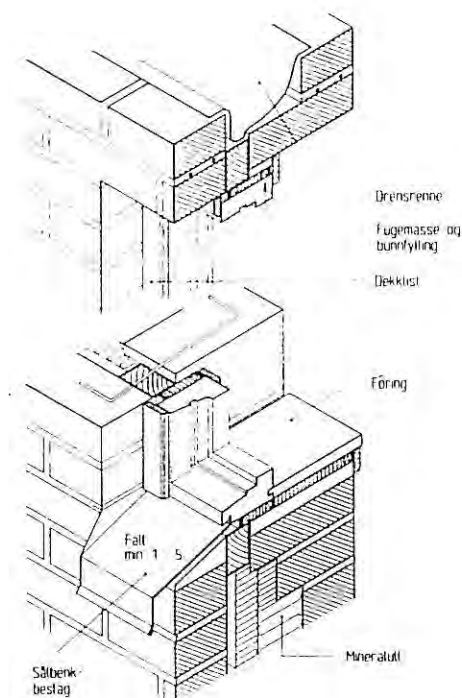
I figur 2 d er det vist eksempel på avslutning av skallmurvegg mot tretak med kaldt loft. Figuren viser mineralulldytt i toppen av luftspalten bak ytre vange. Dette reduserer luftbevegelsene i spalten og dermed også infiltrasjonen av kaldluft i mineralullsjiktet.



Samtidig vil en viss luftstrøm bidra til opptørking i luftspalten. En ytre vange med åpninger både oppe og nede, vil også redusere trykkforskjellen over murvangen og dermed også vanngjennomtrengningen. Løsningen hvor takavslutninger gjøres lufttett oppe mot taket, må derfor frarådes.

Figur 2 d Avslutning av skallmurvegg mot tretak med kaldt loft

Vinduer bør plasseres i samme plan som isolasjonssjiktet. Av og til ses eksempler på at vinduer plasseres i ytre vange, men slike løsninger frarådes. I figur 2 e er det vist et anbefalt eksempel på innfesting av vindu. Over toppkarmen må det legges inn et beslag for å lede vann ut til side for vinduet. Beslaget bør føres minst 0,3 m forbi vindusåpningen og ha nedbrettet dryppkant i endene.



Figur 2 e Innsetting av trevindu i skallmurvegg

### Murte forblendinger

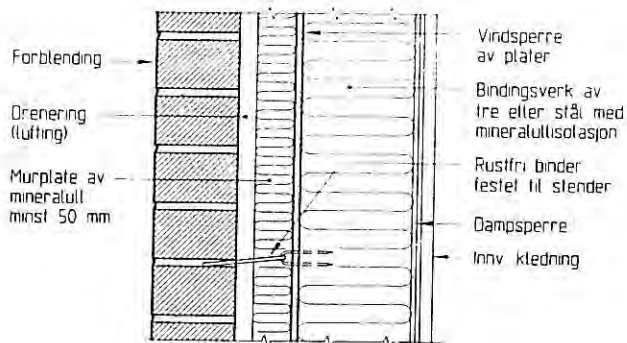
Murte forblendinger benyttes som utvendig kledning på bakvegg av betong, bindingsverk e.l. Forblendingen kan mures opp av murstein eller murblokker. Prinsippet med fuktsikring ved drenering av spalte bak forblendingsveggen, detaljering etc. er det samme som for skallmurveggen.

En forblending av isolert bindingsverk er vist i figur 2 f. Det anbefales sterkt å plassere et sjikt mineralull i hulrommet mellom forblendingen og bindingsverket. I tillegg til å forbedre veggens varmeisolerende evne, beskytter mineralullplaten det vindtettende sjiktet på bindingsverket mot mekaniske påkjenninger under muringen.

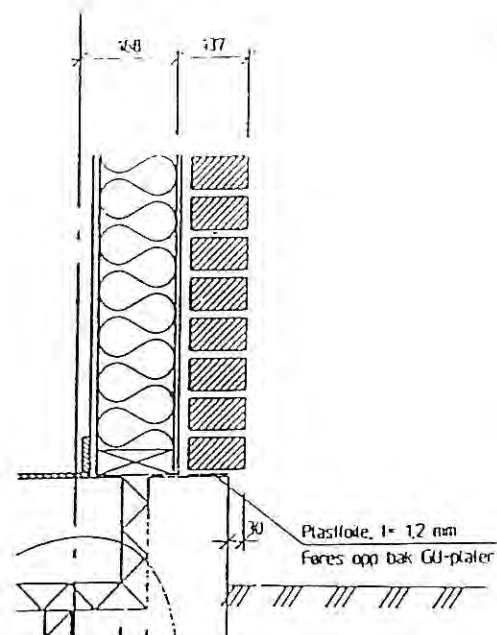
Mineralullplatene holder også overskuddsmørtel tilbake, samtidig som faren reduseres for at mørtel faller ned i hulrommet og tetter dreksåpningene. Videre vil mineralullen drenere vann ned som ellers kunne blitt ledet inn til bindingsverksveggen ved «mørtelbroer».

Luftspalten mellom forblendingen og varmeisolasjonen bør være 15 – 20 mm bred. Hvis det ikke legges inn mineralull i mellomrommet, må bredden på luftspalten økes til ca. 50 mm.

I de senere årene er det ført opp mange murte forblendingsvegger med en utførelse av den typen som vist i figur 2 g. Både gipsplate (GU-kvalitet) og asfaltimpregnerte trefiberplater er brukt som vindsperre. Fukt- og råteskader i bindingsverket har som ventet oppstått.



Figur 2 f Eksempel på forblending med 15 – 20 mm luftspalte



Figur 2 g Forblending av isolert bindingsverk

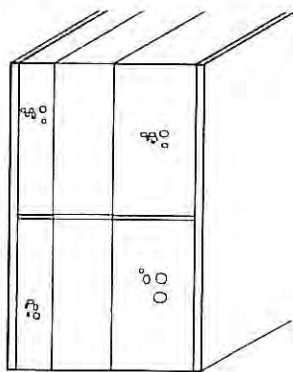
Ved bakvegg av betong er det av flere årsaker gunstig at veggens samlede varmeisolasjon plasseres mellom betongveggen og forblendingen. Isolasjonen skal legges i to lag med forskjøvne skjøter. Også her bør luftspalten ha en bredde på 15 – 20 mm. Ved forblendingsløsninger monteres dører og vinduer normalt i bakveggen før muringen tar til. Det advares mot å plassere vinduer i forblendingen.

### 3 MURTE FASADER MED PUSS

#### Prinsipiell oppbygging

Murte yttervegger som i dag pusses, består som regel av massive murblokker eller sandwich-blokker med en midtre kjerne av varmeisoleringsmaterialer, figur 3 a. Slike vegger blir i noen tilfeller tileggsisolert utvendig og isolasjonen pusset. Disse løsningene blir ikke nærmere behandlet i dette notatet.

Slike blokkvegger mures uten hulrom. Utvendig veggflate påføres et pussjikt og eventuelt en overflatebehandling som skal gi murverket nødvendig beskyttelse mot klimatiske og mekaniske påkjenninger og en ønsket overflate med hensyn til planhet, struktur og farge. Slik ett-trinns regntetting stiller strenge krav til materialenes egenskaper, til god prosjektering og til selve utførelsen.



Figur 3 a Pusset sandwichvegg



### Fuktsikring av blokkmurte vegger

For at en murt blokkvegg skal ha nødvendig tetthet mot fukt, må følgende faktorer være tilfredsstillt:

- Overflatebehandlingen må i seg selv være tett mot slagregn.
- Murverket må være uten sprekker og større riss.
- De bygningstekniske detaljene må være riktig utført.

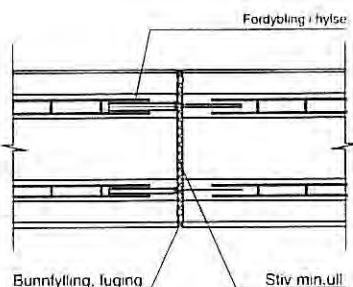
#### Overflatebehandling

En fasadepuss bygges opp i flere sjikt (vanligvis tre). Pussens sammensetning og utførelse avhenger av murmaterialet, klimapåkjenning og ønsket struktur. Generelt frarådes det å bruke mørtler med høyt bindemiddelinhold, fordi slike mørtler er mest utsatt for svinn og sprekkdannelse. Mørtel klasse B eller C etter NS 3120 er for eksempel mest aktuelle som hovedpuss på fasader i lettklinkerblokkmurverk. Som utvendig puss på porebetong blir en spesiell hydrofobert letpuss anbefalt av blokkleverandør.

Med plastbaserte malingsystemer på fasadepuss vil en blokkmurt vegg være ømfintlig overfor sår i overflaten, lokale mangler ved beslag etc. Vann som måtte trenge inn gjennom slike uregelmessigheter, vil lett akkumuleres bak den relativt damptette malingen med avskallinger og frostskafer som resultat. På blokkmurte fasader er det derfor riktig å bruke meget diffusjonsåpne, mineralske produkter (sementslemming, silikatmaling eller tilsvarende).

#### Sprekkefrie utførelser av murte blokkvegger

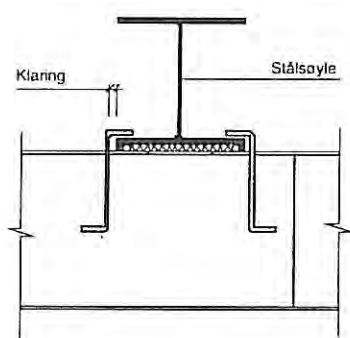
En avgjørende forutsetning for at sprekker skal unngås i blokkmurte fasader er at temperatur- og fuktbevegelser ikke fører til skadelige spenninger. Dette betyr blant annet at lange vegger må deles opp med vertikale bevegelsesfuger, figur 3 b. Murte vegger må videre ikke «låses fast» til bygningsdelen/komponenten hvor relative bevegelser vil forekomme. Veggene må med andre ord få en sjanse til å bevege seg uavhengig av bærende og tilstøtende konstruksjoner i andre materialer (figur 3 c). Også mot grunnmur vil det i større bygg være riktig å skille konstruksjonene med et glidesjikt (figur 3 d).



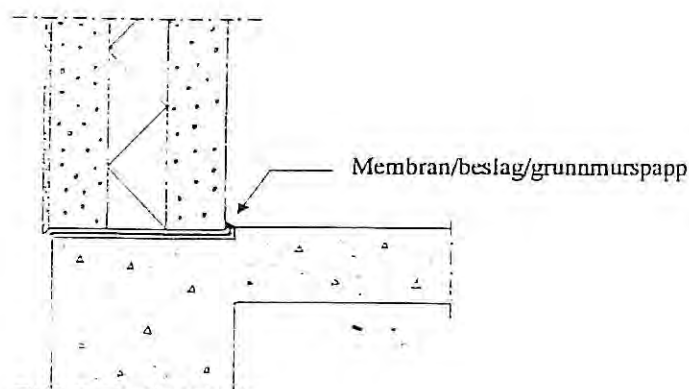
Figur 3 b Gjennomgående bevegelsesfuge. Dybel for skjærkraftoverføring

Et godt grunnlag for sprekkefrie blokkvegger er å benytte:

- murblokker hvor det meste av uttørkingssvinnet er tilbakelagt
- fugearmering i samsvar med blokkprodusentens anvisninger
- prinsipper for oppdeling og tilslutning til andre materialer som skissert foran



Figur 3 c Forankring til stålsøyle



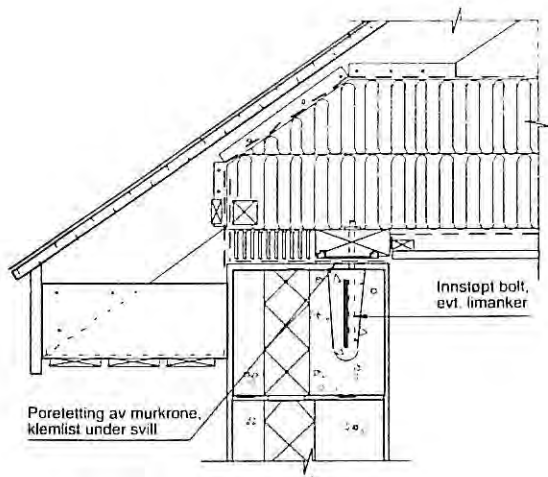
Figur 3 d Muring på glidesjikt ved sokkel

### Sentrale detaljer

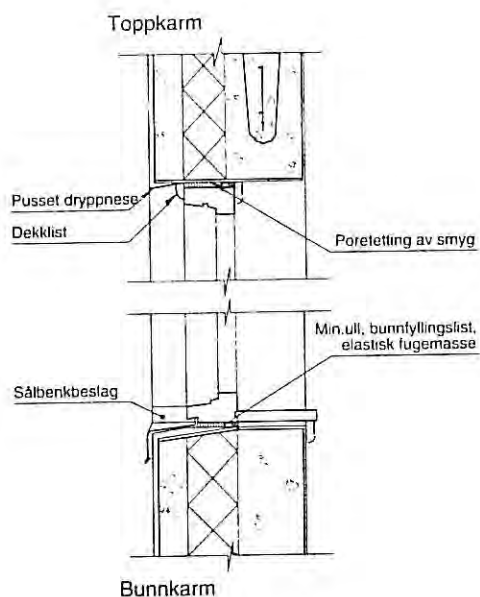
I overgangen mellom vegg og tak må man legge stor vekt på tettet detaljer for å hindre vann- og luftlekkasjer. Poretetting av murkrone og klemming av vind- og damperresjikt er her sentrale punkt. Videre må avstivning av veggen og forankring av takkonstruksjonen ivaretas.

For lette takkonstruksjoner i tre er en forankring av toppsvill med ekspansjonsbolter til et øvre armert og utstøpt U-blokkskift vanligvis tilstrekkelig (figur 3 e). I svært værutsatte strøk kan det være behov for å føre forankringen lenger ned mot veggen for å få tilstrekkelig motvekt mot sugekrefter på tak.

Før vindu eller dør settes inn, må smyget pusses eller slemmes til full poreretting for å hindre utilsiktede luftlekkasjer. Dør og vindu festes mekanisk til sidesmyg med egnede bolter. God tetting oppnås med mineralull, bunnfyllingslist og elastisk fugemasse i indre del av fugen (figur 3 f). For å bedre muligheten for uttørking av fukt som kan trekke inn i smyget, anbefales det ikke lenger å benytte diffusjonstett elastisk fugemasse i ytre vindtetting. Fugen beskyttes utvendig med dekklist. I sålbenker anbefales det å bruke beslag med oppbrett i bakkant og sidekant. Fall minimum 1 : 5 utover. Beslaget festes i bakkant mekanisk til sliss i underkant vinduskarm. Ved sidekant pusses det ned mot beslaget.



Figur 3 e Opplegg og forankring av lett tak på murt yttervegg



Figur 3 f Innsetting av vindu

### SLUTTORD

Å velge murte fasader representerer i dag ingen fukttekniske betenkeligheter selv i meget værharde strøk. De massive veggene med puss må likevel sies å være mer sårbare enn vegger med en drenert skallmur/forblending. For alle typer vegger gjelder imidlertid at forhåndsdokumenterte detaljløsninger bør benyttes. Alternativet er å legge fram nødvendig dokumentasjon for at den aktuelle løsningen tilfredsstillende sin funksjon. Videre må det være en selvfølge at det framlegges dokumentasjon for at murverkets delmaterialer som stein og mørtel tilfredsstillende kravene i Norsk Standard (NS), og at det benyttes entreprenør med nødvendige kvalifikasjoner.

### LITTERATUR

Waldum, Alf. M. 1992. Materialer for rehabilitering av eldre murfasader. Anvisning 34, Norges byggforskningsinstitutt. Oslo  
 Norges byggforskningsinstitutt: Blad i Byggforskserien om murte yttervegger  
 Mursenteret: Anvisninger om skallmurvegger og om massive yttervegger

# KOMAPKTE, VARME TAK

Siv.ing. Knut Noreng

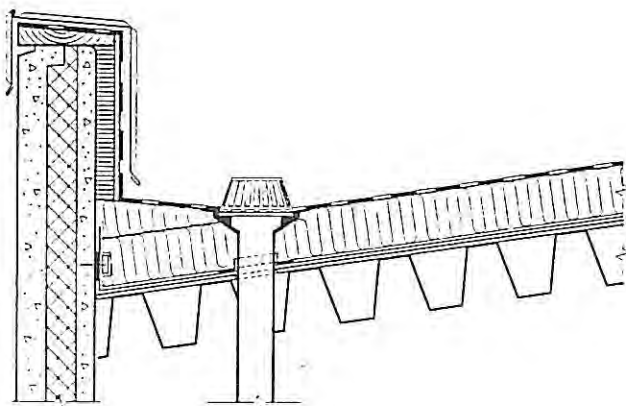
## 1 BAKGRUNN

Takets hovedoppgave er å isolere inneklimaet fra uteklimaet, det vil si at:

- Regn og smeltevann skal ledes bort.
- Snø skal oppbevares eller avledes.
- Varmegjennomgang må begrenses.
- Fukt fra inneluften må ikke trenge inn i og skade konstruksjonen.
- Støygjennomgang må begrenses.

Mellom 1/3 og 1/4 av de årlige byggeskadene på ca. 2,5 milliarder kr dreier seg om skader på takkonstruksjoner. Skader på flate, kompakte tak utgjør en vesentlig andel av dette skadeområdet. Skikkelig planlegging, bruk av veldokumenterte produkter og løsninger samt kontroll av utførelsen, er avgjørende for å få til et godt tak.

Til større yrkesbygg velges ofte flate tak, eventuelt svakt skrående tak. Slike tak blir som oftest utført som kompakte tak. Se eksempel i figur 1.1. Kompakte, varme tak må alltid utføres med innvendig nedløp.



Figur 1.1 Svakt skrående, kompakt tak med bærende stålplater

For å unngå senere lekkasjer og skader er det viktig at taket planlegges og utføres riktig. Oppbyggingen av takkonstruksjonen, valg av materialer, og utførelse av detaljer er alt like viktig for å få til et vellykket resultat.

*Prosjekteringsfasen:* Lag løsninger som hindrer stående vann på taket. Tenk også på at det skal være mulig for taktekkeren å utføre de planlagte arbeidene slik at detaljer blir tette osv.

*Byggefasen:* Velg dokumenterte produkter og erfarne håndverkere. Se til at bedriften som utfører takarbeidene gjennomfører egenkontroll av de ferdige arbeidene.

*Teknisk forskrift* av 1997 med veiledning sier i følgende kapitler noe om takkonstruksjoner som det skal tas hensyn til:

- Kap. 7-22 om risikoklasser og brannklasser
- Kap. 7-24 om bruk av brannklassifisert taktekning og brennbar varmeisolasjon. Veiledningen sier blant annet at takflater som er varmeisolert med brennbart materiale, skal ha effektive brannskiller for hver 400 m<sup>2</sup>.
- Kap. 7-32 sier at byggverk skal plasseres og utformes slik at de har tilfredsstillende sikkerhet mot å bli skadet av naturpåkjenninger (skred, flom, sjø og vind).
- Kap. 8-21 stiller krav til isolering mot varmetap.
- Kap. 8-22 stiller krav til tetthet og sier blant annet at fukt ikke skal trenge inn og redusere bygningsdelens varmeisolerende yteevne eller forringe bygningens levetid.
- Kap. 8-37 sier blant annet at tak skal ha tilstrekkelig fall slik at regn og smeltevann renner av. Dersom kondens kan oppstå på undersiden av taktekningen, må underliggende konstruksjon beskyttes ved hjelp av vanntett sjikt.

Siden dette notatet er skrevet i forbindelse med sluttseminaret for fuktprogrammet, vil hoveddelen i det etterfølgende dreie seg om fuktsikre, kompakte tak.

## 2 DEFINISJONER

- Kompakte tak (også kalt massive) er tak som består av ett eller flere lag der lagene ligger så tett sammen som praktisk mulig. I motsetning til luftede tak, har kompakte tak ikke et tilsiktet luftsjikt mellom varmeisolasjon og taktekning.
- Rettvendte tak er kompakte tak der all isolasjon ligger under taktekningen.
- Omvendte tak er kompakte tak der all isolasjonen ligger på oversiden av taktekningen/membranen.
- Flate tak er tak med helling  $\leq 6^\circ$  (1:10). Tak med helling  $> 6^\circ$  er skrå tak.



### 3 FORSKJELLIGE TYPER KOMPakte TAK

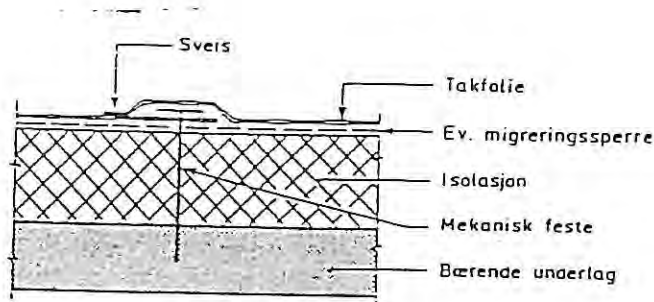
Kompakte tak kan utføres på flere forskjellige måter. I det etterfølgende blir fem forskjellige hovedtyper diskutert og vist med prinsipiell oppbygging.

Kompakte tak må i utgangspunktet ikke ha trebaserte materialer mellom de to tette sjiktene dampsperre og taktekning. Konstruksjonen blir dermed mindre utsatt for råte og mugg. For å hindre at fuktig inneluft trenger inn i konstruksjonen ved luftlekkasjer, bør dampspærren utføres så lufttett som mulig.

Taktekningen kan være av asfalt takbelegg eller takfolie. Utført i henhold til legge- og festespesifikasjonene gir begge hovedtyper taktekning fullverdige løsninger.

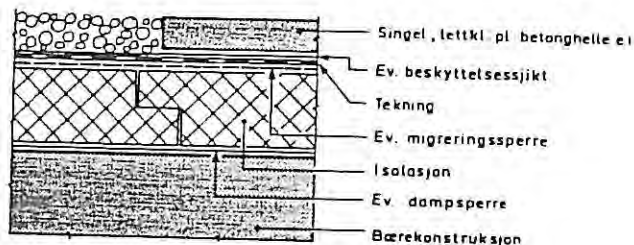
#### Rettvendte tak

Løsningen med rettvendte tak er velprøvd og sikker, og er den dominerende på store tak. Til isolasjon kan man benytte flere typer. Taktekningen kan enten være eksponert og mekanisk festet, se figur 3.1 a, eller ballastert/tildekket, se figur 3.1 b.



Figur 3.1 a Rettvendt tak. Mekanisk festet

Eksponerte tekninger har den fordel at de gir lett tilsyn og vedlikehold.

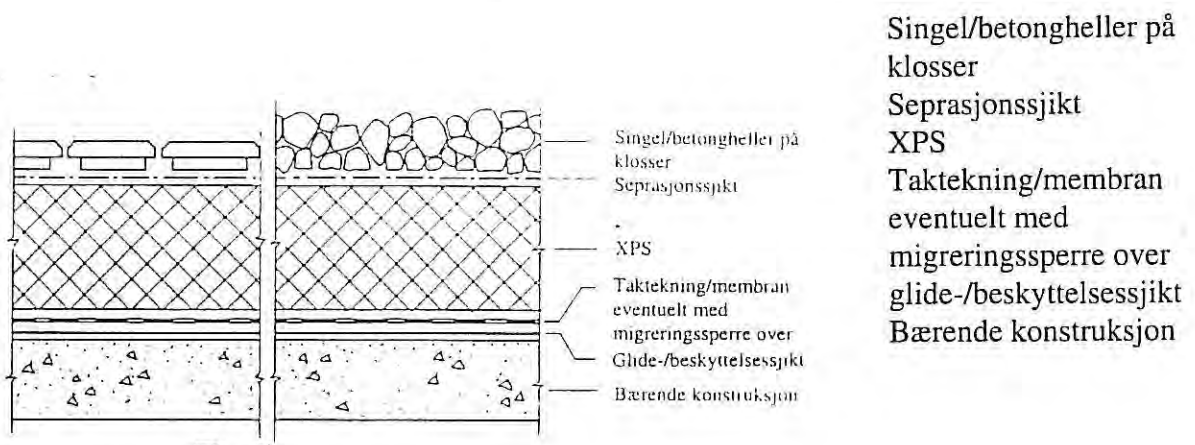


Figur 3.1 b Rettvendt tak. Ballastert

Ballasterte tak benyttes av visuelle grunner, samt der fastholding ved ballast er ønsket i stedet for mekaniske fester.

#### Omvendte tak

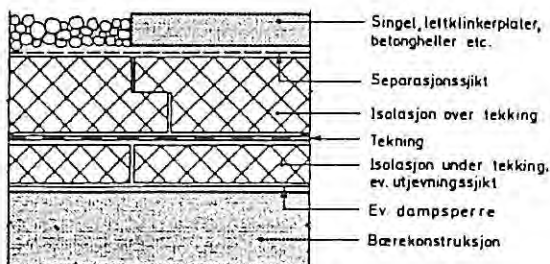
Til isolasjon i omvendte tak må det benyttes trykkfast isolasjon med lukket cellestruktur som har begrenset vannopptak og som derved beholder sin isolasjonsevne. Isolasjonen og tekningen fastholdes ved påstøp eller tildekning. Konstruksjonen benyttes mest på tak med lett eller tung trafikk, eventuelt tak med beplantninger. Løsningen er velprøvd, og stiller store krav til utførelse og beskyttelse, da det er vanskelig å komme til for senere reparasjoner. Se figur 3.2.



Figur 3.2 Omvendt tak

### Duo-tak

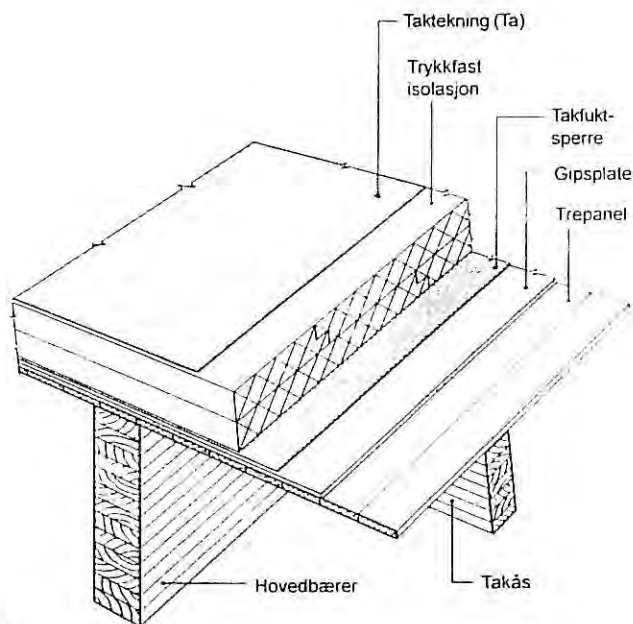
Duo-tak er en variant av de to forannevnte ved at deler av isolasjonen legges under membranen og deler legges over. Se figur 3.3. Konstruksjonen kan være aktuell ved bruksendring som krever tilleggsisolasjon. Ellers er den mest benyttet på tak for lett eller tung trafikk. Isolasjonsmaterialene over membranen må som for omvendte tak ha lite vannopptak. Også denne konstruksjonen stiller store krav til utførelse og beskyttelse, da det er vanskelig å komme til for senere reparasjoner.



Figur 3 Duo-tak

### Skrått kompakt tretak med utenpåliggende isolasjon

Hovedhensikten her er å vise en trekonstruksjon hvor all isolasjon ligger på oversiden av bærekonstruksjonen. Utenpåliggende isolasjon gir mulighet for å få til en ubrutt tett og god dampsperre, hvor det ikke er noen trebaserte materialer mellom de to tette sjiktene. Figur 3.4 viser dampsperre som en såkalt takfuktsperre av takfolie eller av asfalt takbelegg med sveisede skjøter. Slik fuktsperre kan også fungere som en midlertidig tekning. Isolasjonen kan være av brennbar eller ubrennbar kvalitet.



Figur 3.4 Kompakt tretak med utenpåliggende isolasjon

#### Kompakte tak av fabrikkframstilte elementer

Fabrikkframstilte takelementer blir også benyttet i bygg med kompakte tak. Slike fabrikkframstilte elementer kan være bygd opp med varmforsinkede tynnplateprofiler i stål i samvirke med treverk.

Elementene leveres isolert og kan tilfredsstillende varierende U-verdier. De kan leveres ferdige, eventuelt både med himling og taktekning. Fabrikkframstilling gir en god mulighet til å ha kontroll med fukttilstanden i elementene. Tilpasninger i forbindelse med spesielle detaljer og for eksempel gjennomføringer er vanlig på byggeplass og krever samvittighetsfull utførelse for å unngå senere fuktskader. Det er viktig at retningslinjene for montering og bruk følges.

## 4 FALL OG DRENERING

Tak bør aldri lages med helt horisontale flater, selv om det brukes taktekning som kan motstå vanntrykk. Det er alltid en risiko for at feil ved tekkearbeidet kan føre til lekkasjer.

Erfaringen viser at risikoen for lekkasje blir vesentlig mindre jo større takfallet er. Det anbefales derfor at tak alltid utføres med følgende minimumsfall, uansett taktekning:

Fall på selve takflatene:  $\geq 1:40$

Fall i renner og vinkelrenner:  $\geq 1:60$

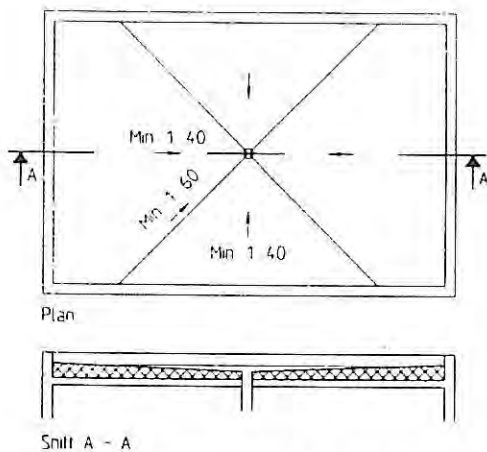
Oftest er det krav til fall i vinkelrenner som bestemmer fallet på takflatene. Som vist i figur 4.1 får et tak med firesidig fall til slutt et fall i rennene på ca. 1:60 når fallet på selve takflatene er 1:40. Dersom takflatene bygges opp slik at vinkelrennene ikke møtes symmetrisk ved sluket, må takflatene ha større fall for at fallet i rennene fremdeles skal være minimum 1:60. En god måte å drenere tak på er ellers å samle vannet i nedsenkede renner som i figur 4.2. Se for øvrig Byggetal 525.207 om alternative utførelser av takfall på flate tak.

Takflatene må deles inn slik at takarealet pr. sluk ikke blir for stort, verken når det gjelder kapasiteten til sluket eller nødvendig byggehøyde for å få tilfredsstillende fall.

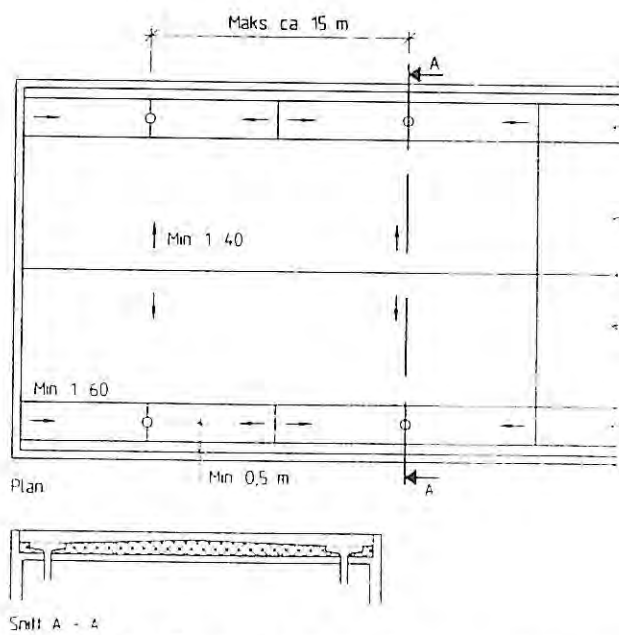
Ved plassering av sluk må man ta hensyn til nedbøyning av takkonstruksjonen som følge av egenlast og nyttelaster. Det betyr at for tak med små takfall må sluket plasseres midt i spennet og ikke ved bærekonstruksjonenes opplegg, så fremt det ikke brukes nedsenkede renner som vist i figur 4.2.

Sluk må ikke plasseres så nær oppkanter at det i praksis blir umulig å tekke taket på en tilfredsstillende måte. Avstanden fra senter sluk til gesimser og lignende bør være minst 0,5 m.

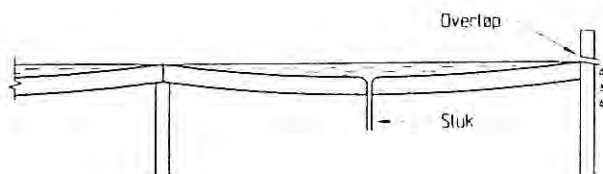
Sluk som stoppes til av løv, isdannelse eller lignende, kan føre til oppdemming av vann. Alle flate tak bør derfor ha overløp som hindrer farlig overbelastning og som varsler når slukene ikke fungerer, se figur 4.3.



Figur 4.1 Minste anbefalte takfall når taket bygges med firesidig fall til sluk



Figur 4.2 Eksempler på flatt tak med minimum takfall og nedbygde renner til sluk. Normalt bør imidlertid avstanden mellom hvert sluk ikke være mer enn ca. 15 m uten at det gjøres nærmere vurderinger eller beregninger. På isolerte tak er det en fordel at rennene har mindre varmeisolasjon enn takflatene, slik at snøen først smelter i områdene rundt slukene.



Figur 4.3 Flate tak bør ha overløp som hindrer overbelastning når slukene eventuelt blir tette. Overløpet må plasseres slik at vekten av vannet som kan demmes opp ikke blir større enn snølasten som taket er dimensjonert for.

## 5 TAKTEKNING

Til tekning på flate eller svakt skrående tak benyttes takfolie eller asfalt takbelegg. Disse legges med omleggsskjøter som sveises slik at tekningen blir vanntett. Tekningen holdes på plass og sikres mot vindkrefter ved hjelp av mekaniske festemidler (se Byggedetaljer 544.206) eller ved hjelp av ballast for eksempel av singel (se Byggedetaljblad 544.202). Tidligere ble taktekningen ofte klebet til underlaget, men det frarådes, da det gir for dårlig sikkerhet mot avblåsing.

Det fins i dag flere fullverdige taktekninger både som ett- og tolags systemer. For byggherren og hans rådgivere kan det ofte være vanskelig å vite hva han skal velge blant alle produktene på markedet. Byggforsk anbefaler å velge veldokumenterte produkter, for eksempel produkter med NBI Teknisk Godkjenning (NTG).

Like viktig som valg av et veldokumentert produkt og bruk av erfarne taktekkere, er planlegging og utførelse av detaljene. Alle detaljer må være avklart før byggearbeidene starter. Løsninger som tas på sparket, blir ofte dårlige. Dessuten kan det være vanskelig i en del tilfeller å få utført endelige tettinger skikkelig. Spesielle detaljer som erfaringsmessig er viktige, er alle avslutninger – for eksempel ved gesims eller overgang mot vegg, og alle gjennomføringer – som sluk eller i forbindelse med ventilasjon. I tillegg er det viktig med gode beslagsdetaljer slike steder.

For å hindre antennelse og spredning av brann stiller teknisk forskrift krav om taktekningens branntekniske egenskaper. Hovedregelen er at taktekningen skal være ubrennbar eller ha klasse Ta. Se mer om brannteknisk konstruksjoner for tak i TPF informerer nr. 6, revisjon 1998.



## 6 ISOLASJON

I henhold til de nye tekniske forskriftene til plan- og bygningsloven er kravene til takets isolasjonsevne skjerpet. Heretter kommer 250 mm – 280 mm gjennomsnittlig isolasjonstykkelse til å bli vanlig for bygninger med innetemperatur  $\geq 20$  °C. Der bærekonstruksjonen ikke gir tilstrekkelig fall, må fall bygges opp med skråskårne kiler av isolasjon.

I tillegg til klimalastene blir taket også utsatt for gangtrafikk fra vedlikehold og ettersyn. Isolasjonsmaterialene som benyttes, må ha nødvendig trykkstyrke uten for stor sammentrykning. Vi anbefaler maks 5 mm sammentrykning ved 15 kPa.

Arbeidene med isolasjon og tekking må alltid utføres på en måte som tilfredsstillter forskriftenes krav om å hindre brannspredning. Se mer om «Branntekniske konstruksjoner for tak» i TPF-informerer nr. 6.

I bygg med lave eller ingen U-verdi krav bør man likevel isolere for å unngå kondensdannelse på undersiden av taket. I de fleste tilfeller er 50 mm isolasjonstykkelse tilstrekkelig.

## 7 DAMSPERRE

Vi har ment at det må legges mer arbeid i å planlegge valg og utførelse av dampspærren. For valg eller «dimensjonering» av dampspærren er det to veier man kan gå:

- a) Valg kan baseres på detaljerte fukttekniske beregninger og vurderinger for hvert aktuelt tilfelle, hvor det blant annet tas hensyn til stedets klima. Det kan gjøres på grunnlag av beregninger med dataprogrammer som for eksempel Match eller Moist. Resultatene fra en slik beregning av fukttransport ved diffusjon og av konstruksjonens uttørkingspotensial vurderes opp mot total fukttransport og mulige skadevirkninger.
- b) Man kan velge gjennomprøvde, sikre løsninger, gjerne skjematisk som vist i det etterfølgende. Under gjennomgår en enkel metode for «dimensjonering» av dampspærre. Framgangsmåten kan benyttes der mer nøyaktige beregninger ikke er ønsket.

Vanlig dampspærre utføres i dag av 0,15 mm eller 0,2 mm PE-folie, lagt med 200 mm løse omlegg. Denne typen dampspærre er tilfredsstillende i svært mange tilfeller, men skjøtene blir ikke lufttette. Er ikke konstruksjonen lufttett på annen måte, vil varm og fuktig inneluft trenge ut i konstruksjonen. Der blir luften avkjølt, og vanddampen kondenserer. Slik kondens kan skade takkonstruksjonen og også skape dårlig innemiljø.

Prosjektrapport 190/95 fra Byggforsk og brosjyren TPF Informerer nr. 7 viser en metode for å dimensjonere dampspærren. Metoden kan i første omgang virke noe omstendelig, men man bør kunne avsette 15 – 30 minutter til å dimensjonere en så viktig bygningsdel. Eventuelle senere skader kan bli mye dyrere enn tiden det tar å utføre en slik vurdering.

### **Valg av dampsperre på grunnlag av sikre erfaringsbaserte løsninger**

Dampsperrreløsning i en bygning velges ut fra en helhetsvurdering der følgende må inngå:

- innvendig klima (luftfuktighet og temperatur)
- innvendig trykk (under taket)
- konstruksjon (type bæresystem)
- utvendig klima

Luftede tak og kompakte tak er to alternative takløsninger. Utført riktig skal begge gi trygge konstruksjoner. Valg og riktig utførelse av dampsperra er nesten enda viktigere i luftede tak enn i kompakte tak.

I kompakte tak forutsetter vi at det ikke benyttes råtefarlige materialer, med mindre det er utført en grundig fuktteknisk vurdering.

Nedenfor er det vist en måte å finne samlet «risikoklasse» på for dampsperrreløsning, basert på ovennevnte helhetsvurdering. Metoden kan benyttes for så vel kompakte tak som for luftede tak:

- Finn belastningspoeng etter en skala fra 0 – 10 for hver type belastning i henhold til tabell 1.
- Finn summen av belastningspoeng.
- Finn risikoklasse. Det er benyttet fem risikoklasser, R4 er den strengeste og R0 er mildeste.
- Velg type dampsperre og utførelse av dampsperran i henhold til tabell 2.

For de fleste tilfeller skulle skjemaet være selvforklarende, eventuelt med støtte fra beregningseksemplene.

Tabell 1 Dimensjoneringskjema for valg av dampsperreløsning

P1 Innvendig klima		P2 Innvendig trykk		P3 Konstruksjon		P4 Utvendig klima		ΣP P1 + P2 + P3 + P4	
Poengskala for forventet totalt fuktinnhold i innendørsluft		Poengskala for forventet innvendig trykk under taket		Poengskala for konstruksjonens egentetthet		Poengskala for forventet utendørs temperaturforhold		Sum belastningspoeng fra de fire belastningsforhold	
Vurderes i henhold til byggets bruk, innvendig temperatur og RF for dimensjonerende vintersituasjon. Inneluftens vandampinnhold hentes fra tabell 3.		På bakgrunn av byggets utforming og plassering av åpninger og utetheter, finnes nøytralaksen. Legg til 1 Pa derfra for hver meter opp til taket. Adder til ev. ventilasjonsbasert trykk, og finn resulterende trykk rett under taket.		Plasstøpte betongkonstruksjoner vurderes som tette og gis 0-blastningspoeng under forutsetning at den er tørr. Fuktig betong gis samme belastningspoeng som tre-/stålkonstruksjon. Stållkonstruksjoner vurderes som åpne. Mange gjennomføringer i taket: Velg ett poengtrinn høyere.		Laveste utvendige månedsmiddeltemperatur for aktuelt byggested for dimensjonerende vintersituasjon. Kfr. tabell 4		Summen benyttes til å finne risikoklasse. Deretter finnes nødvendig dampsperreløsning.	
Poengskala: 0 – 10 P		Poengskala: 0 – 10 P		Poengskala: 0 – 10 P		Poengskala: 0 – 10 P		Sum	
Vandampinnhold	Poeng	Innvendig trykk	Poeng	Egentetthet i konstr.	Poeng	Månedsmiddeltemp.	Poeng	Poengskala: 0 – 40 P	
< 4 g/m <sup>3</sup>	0	< 0 Pa	0	Plasstøpt betong, tørr	0	> 0 °C	0		
4 - 8 g/m <sup>3</sup>	2	0 - 2 Pa	2	Prefabrikkert betong, tørr	2	0 - -5 °C	2		
8 - 15 g/m <sup>3</sup>	5	2 - 5 Pa	5	Tre-/stål, fuktig betong	5	-5 - -10 °C	5		
> 15 g/m <sup>3</sup>	10	> 5 Pa	10	Tre-/stål+gj.føringer	10	< -10 °C	10		

**Tabell 2 Risikoklasser og krav til dampsperre**

Risiko-klasse	Sum belastnings-poeng	Krav til dampsperre
R0	$\Sigma P \leq 5$	Ingen (NB! Framtidige bruksendringer og også andre hensyn gjør at dampsperre likevel anbefales)
R1	$5 < \Sigma P < 12$	0,2 mm PE-folie lagt med 200 mm løse omlegg
R2	$12 \leq \Sigma P < 22$	0,2 mm PE-folie lagt med 200 mm klemte omlegg og utført med tette tilslutninger (klemming, tapeing, fugemasse)
R3	$22 \leq \Sigma P < 32$	a) Takfuktsperre av asfalt takbelegg minimum av klasse U2 NS3530 lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger. b) Takfuktsperre av 0,8 mm PVC-folie (evt. annen) lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger.
R4	$\Sigma P \geq 32$	a) Takfuktsperre av asfalt takbelegg minimum av klasse U2 NS3530 lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger. b) Takfuktsperre av f.eks 0,8 mm PVC-folie lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger med 0,15 mm PE-folie løst utlagt med løse omlegg i tillegg for å få tilstrekkelig dampmotstand. NB! For $\Sigma P \geq 32$ anbefales ikke mekanisk innfesting av selve taktekkingen.

**Kommentarer**

- Byggforsk anbefaler alltid at dampsperre legges, selv i risikoklasse R0 (senere bruksendringer kan blant annet være en grunn)
- Dampsperre av PE-folie kan brukes i de fleste vanlige bygninger. Det benyttes tette skjøter og tilslutninger i risikoklasse R2, vanlige løse omlegg kan benyttes i R1.
- En del spesielle bygninger må ha ekstra god dampsperre, her kalt takfuktsperre. Det angir et sperresjikt med bedre mekanisk styrke og også muligheten for sveiste skjøter og tilslutninger.

Slik takfuktsperre bør brukes i:

- trykkerier, vaskerier og annen fuktig industri
- svømmehaller og garderobeavdeling i idrettshaller
- i bygninger med overtrykksventilasjon
- andre bygninger med spesielle fuktbelastninger

*Belastningspoeng for innvendig klima* kan finnes ved å anslå fuktinnholdet i inneluften som en sum av uteluftens fuktinnhold og forventet fukttilskudd for bygningstypen. Til hjelp kan man benytte tabell 3. Tabellen bygger dels på undersøkelser og dels på antakelser, og den viser inneluftens fuktinnhold som funksjon av uteluftens laveste månedsmiddeltemperatur, kfr. tabell 4 og fukttilskuddet.

*Tabell 3 Inneluftens fuktinnhold (g/m<sup>3</sup>) som funksjon av uteluftens laveste månedsmiddeltemperatur og fukttilskuddet for bygningstypen*  
*Laveste månedsmiddeltemperatur hentes fra tabell 4.*

Laveste månedsmiddeltemperatur		0 °C	-5 °C	-10 °C
Fukttilskudd				
Ikke noe fukttilskudd	0 g/m <sup>3</sup>	4,5	3,0	2,0
Kontorbygg med tørt innemiljø	2 g/m <sup>3</sup>	6,5	5,0	4,0
Skoler, butikker, sykehus, sykehjem boliger med tørt innemiljø	4 g/m <sup>3</sup>	8,5	7,0	6,0
Forsamlingslokaler, boliger med fuktig innemiljø	6 g/m <sup>3</sup>	10,5	9,0	8,0
Dusj og garderobeanlegg og fuktig industri	9 g/m <sup>3</sup>	13,5	12,0	11,0
Svømmehaller med avfuktingsanlegg og svært fuktig industri	12 g/m <sup>3</sup>	16,5	15,0	14,0
Svømmehaller uten avfuktingsanlegg og svært fuktig industri	≥ 13 g/m <sup>3</sup>	> 15	> 15	> 15



Tabell 4 Laveste månedsmiddeltemperatur oppgitt for en del målestasjoner

<b>Stasjon</b>		<b>Stasjon</b>		<b>Stasjon</b>	
<b>Finmark fylke</b>		Trondheim - Voll	-3,4	Lyngør	-1,1
Alta-Elvebakken	-8,3	Selbu	-4,2	<b>Telemark fylke</b>	
Ingøy	-2,7	Berkåk	-6,5	Gvarv	-6,5
Kistrand	-6,5	Røros	-11,2	Dalen i Telemark	-5,0
Mehamn	-4,9	<b>More og Romsdal</b>		Vefall i Drangedal	-5,4
Tana	-9,9	Kristiansund N.	0,9	Jomfruland	-2,0
Rustefjelbma	-11,2	Ørsta	-0,8	Tveitsund	-4,2
Vardø	-5,2	Tafjord	0,1	<b>Buskerud fylke</b>	
Vadsø	-6,9	Runde	2,1	Eggemoen	-7,8
Ekkerøy	-6,3	Ålesund	2,1	Buskerud	-7,7
Kirkenes	-9,8	Ona	2,1	Modum	-6,9
Karasjok	-14,8	Gjermundnes	-0,3	Nesbyen II	-10,9
Kautokeino	-14,4	Åndalsnes	-1,0	Geilo	-9,1
Siccejavre	-14,3	Molde	-0,9	Dagali	-8,2
<b>Troms fylke</b>		Sunnal	-4,5	Lyngdal i Numedal	-7,1
Sandøy i Senja	-1,8	Tingvoll	-2,2	Svene	-8,3
Gibostad	-4,0	<b>Sogn og Fjordane</b>		Kongsberg III	-6,7
Bardufoss	-9,0	Myrdal	-6,4	<b>Oppland fylke</b>	
Sommarøya i Senja	-1,9	Vangsnes	-0,3	Fokstua	-10,4
Dividalen	-9,0	Balestrand	0,1	Dombås	-9,0
Skibotn	-5,8	Fjærland	-3,6	Vågåmo	-9,6
Tromsø	-4,0	Lærdal-Tønjum	-2,7	Vinstra	-10,8
Torsvåg Fyr	-1,2	Leikanger	-0,6	Vollen i Slidre	-10,6
<b>Nordland fylke</b>		Luster Sanatorium	-4,2	Lillehammer II	-9,0
Nordli III	-10,0	Fortun	-5,1	Østre Toten	-7,0
Majavatn	-6,9	Førde i Sunnfjord	-2,2	<b>Hedmark fylke</b>	
Brønnøysund	-0,8	Kinn	1,9	Tynset II	-12,8
Hattfjelldal	-10,1	Brandsøy	1,2	Alvdal	-11,2
Skålvær	-0,4	Nordfjordeid	-1,3	Drevsjø	-11,1
Mo i Rana	-6,4	Oppstryn	-1,8	Koppang-Øyset	-11,2
Myken	0,4	<b>Hordland fylke</b>		Rena	-10,5
Glomfjord	-1,4	Indre Matre	0,7	Ytre Rendal	-8,6
Rognan	-7,4	Svandalsflona	-7,2	Trysil	-10,1
Bodø	-2,4	Ullensvang	-0,7	Kise på Hedmark	-6,8
Fauske	-4,0	Kvamskogen	-3,4	Hamar	-8,1
Grøtøy	-0,9	Slirå	-10,0	Flisa	-8,4
Bjørnfjell	-10,6	Voss II	-5,0	Vinger	-7,3
Narvik	-4,2	Bergen	1,3	Skotterud	-6,8
Offersøy	-2,5	Syfteland	-0,8	<b>Akershus fylke</b>	
Skrova	-0,9	Modalen	-2,4	Gardermoen	-6,9
Svolvær	-1,8	<b>Rogaland fylke</b>		Hvam	-6,8
Røst	0,7	Klepp	0,2	Fornebu	-4,6
Eggum	-0,7	Sola	0,4	Asker	-5,2
Bø i Vesterålen	-1,5	Stavanger	0,8	Ås	-5,2
Andenes	-1,5	Sauda	-2,4	<b>Oslo fylke</b>	
<b>Nord-Trøndelag fylke</b>		Skudesnes II	1,3	Tryvasshøgda	-5,6
Meråker	-5,1	Utsira Fyr	1,6	Oslo - Blindern	-4,7
Værnes	-3,4	<b>Vest-Agder fylke</b>		<b>Østfold fylke</b>	
Ytterøy	-2,7	Kristiansand S	-1,3	Rygge	-4,7
Steinkjer	-3,9	Kjevik	-1,9	Råde-Tomb	-4,1
Kjevli i Snåsa	-6,4	Oksøy	-0,3	Kalnes	-4,1
Namsos	-3,0	Mandal II	-1,1	Råde	-4,1
Høylandet	-7,3	Konsmo	-2,6	Brekke Sluse	-4,5
Grong	-5,1	Lista Fyr	0,3	<b>Vestfold fylke</b>	
Nordøyan	0,1	Tonstad	-2,1	Horten	-3,2
<b>Sor-Trøndelag fylke</b>		<b>Aust-Agder fylke</b>		Stokke	-4,2
Vallersund	-0,4	Grimstad	-1,0	Eidsberg	-4,8
Ørland	-0,8	Byglandsfjord II	-3,7		

### Regne-eksempel 1

- a) Boligblokk i Oslo, 4. etasje, prefabrikkerte betongkonstruksjoner med få gjennomføringer i taket. Balansert ventilasjon. Det er antatt bruk av dampsperre, men hvilke krav bør settes til denne?

*Innvendig klima:* P1 = 2 p

Bruk av tabell 3 og 4:

Laveste månedsmiddel  $\sim -5$  °C / bolig med liten fuktproduksjon  $\Rightarrow$  fuktinnhold  $\sim 7$  g/m<sup>3</sup>

*Innvendig trykk:* P2 = 5 p

Fire etasjer gir ca. 12 m høy bygning. Antar jevn fordeling av utettheter over alle etasjer, men at etasjeskillerne er ganske tette slik at nøytralaksen ligger noe høyere enn byggets halve høyde, for eksempel 8 m over bakken.

Trykket under taket på grunn av termisk oppdrift av luft bli da ca. 4 Pa.

Tillegg for ventilasjonsbasert trykk blir her 0. (Vi er klar over at dette kan variere en del, avhengig av styring og kontroll av anlegget.)

*Konstruksjon:* P3 = 2 p

Prefabrikkerte betongkonstruksjoner  $\rightarrow$  2 p

Siden det bare er få gjennomføringer, vurderes det her ikke nødvendig å gå opp et trinn.

*Utvendig klima:* P4 = 2 p

Tabell 4 gir for Oslo laveste månedsmiddel  $-4,7$  °C.

*Sum belastningspoeng:*

$$\Sigma P = 2 + 5 + 2 + 2 = 11 \text{ p}$$

som gir risikoklasse R1.

*Dampsperran kan utføres med 0,2 mm PE-folie med 200 mm omlegg.*

b) Samme boligblokk plassert i Bergen:

*Innvendig klima:* P1 = 5 p

Bruk av tabell 3 og 4:

Laveste månedsmiddel  $\sim 0$  °C / bolig med  
liten fuktproduksjon  $\Rightarrow$  fuktinnhold ca.  $8,5 \text{ g/m}^3$

*Innvendig trykk:* P2 = 5 p

Samme vurdering som tilfelle a)

*Konstruksjon:* P3 = 2 p

Samme vurdering som tilfelle a)

*Utvendig klima:* P4 = 0 p

Tabell 4 gir for Bergen laveste månedsmiddeltemperatur  $+1,5$  °C

*Sum belastningspoeng:*

$$\Sigma P = 5 + 5 + 2 + 0 = 12$$

som gir risikoklasse R2.

*Dampsperran kan utføres med 0,2 mm PE-folie, men det anbefales tette skjøter og tilslutninger ved hjelp av skikkelig klemming, samt tape eller fugemasse.*

## 8 ANBEFALINGER

For at konstruksjonen skal ha en sjanse til å fungere som den skal, må:

- konstruksjonsoppbyggingen planlegges på en slik måte at utførende håndverkere har mulighet til å oppnå en kontinuerlig og lufttett sperre
- konstruksjonene planlegges slik at det bygges inn sikkerhet mot utettheter. Denne sikkerheten prioriteres selv om materialvolumet og investeringskostnadene øker. Det er dyrere å rette en feil enn å gjøre det riktig første gang.
- det velges løsninger og utførelse som minsker risiko for innbygging av fuktighet (nedbør, byggfukt)

Utettheter oppstår vanligvis der det ikke blir tett av seg selv, for eksempel:

- ved overgang tak/vegg
- ved gjennomføringer
- rundt innfelte lysarmaturer m.v.
- i tilslutninger ved hovedbæresystemet, søyler, dragere og mot vinduer
- ved åpne omleggsskjøter i dampspærren
- ved bruk av for tynn dampsperre
- ved sprang i tak- og veggplanet
- i overganger mellom ulike konstruksjoner
- når omleggsskjøter bare klemmes med panelbord

Følgende hovedretningslinjer må følges for å oppnå en lufttett konstruksjon:

- Plasser hovedbæresystemet, søyler og bjelker i sin helhet inne i bygningen. Konstruksjonsdelene blir dermed liggende i et stabilt inn klima. Varmeisolasjon og dampsperre kan da føres kontinuerlig forbi hovedbæresystemet.
- Bruk ikke tynnere plastfolie enn 0,15 mm, helst 0,2 mm.
- Betrakt dampspærren mest som et lufttettende sjikt, klem skjøtene med egen klemlekt som er festet med senteravstand 150 mm der det er mulig.
- Planlegg med mest mulig plane, ensartede flater uten sprang som krever vanskelig skjøter og splitting av dampspærren.
- Sørg for kontinuitet i dampspærren i overgang mellom yttervegg og tak.

- Unngå punktering av dampspærren ved å legge elektriske anlegg, armaturer, kabler, rør, øvrig utstyr, kanaler m.v. åpent på *undersiden* av dampspærren, og *ikke gjennom* denne. Begrens eventuelle gjennomføringer til et *minimum*, og sørg for fullstendig tette overganger.
- Unngå kombinasjon av flere ulike typer ytterkonstruksjoner, for eksempel betong, mur, tegl på den ene siden og bindingsverk på den andre siden. Slike overganger fører *oftest* til brudd i dampspærren når det kommer til utførelse.
- Store og mange åpninger eller gjennomføringer fører til gjentatte brudd i dampspærren.



# BYGNINGER OG ROM MED SPESELL FUKTBELASTNING

Siv. ing. Trond Bøhlerengen

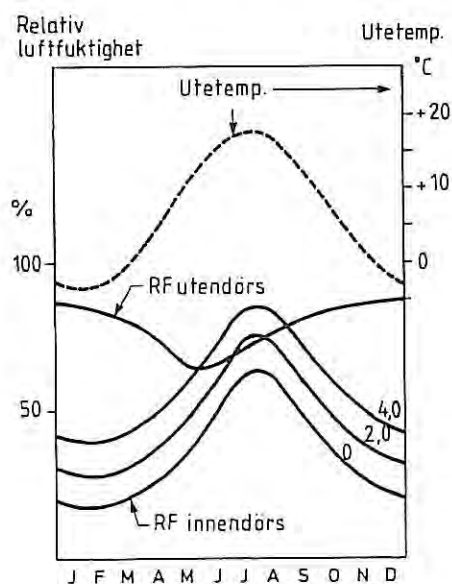
## 1 SPESELL FUKTBELASTNING

Med spesiell fuktbelastning menes både høy luftfuktighet, høyt innvendig luftovertrykk og periodevis våte overflater pga. vannsøl og spyling.

Typiske lokaler med slike påkjenninger er:

- bade- og svømmeanlegg
- dusj- og garderobeanlegg
- trykkerier
- meierier
- bryggerier
- vaskerier
- renseanlegg
- grovkjøkken
- garverier
- enkelte landbruksbygg
- enkelte lokaler i næringsmiddelindustrien
- museer og andre utstillingslokaler

Skillekonstruksjoner mot kaldere omgivelser er spesielt utsatt for fuktvandring fra varm mot kald side stort sett hele året. Det er imidlertid i den kalde årstiden risikoen for fuktskader er størst. Figur 1 viser typisk variasjon i relativ fuktighet inne og ute over året.



Figur 1 Typisk variasjon i relativ luftfuktighet inne og ute

Kondens fra luftlekkasjer er årsak til de største og mest alvorlige skadene som skyldes fukttransport innenfra. Kondensvann som dannes i den kalde delen av ytterkonstruksjonene, vil ofte framtre som «vannlekkasjer» relativt raskt. Ved lave utetemperaturer kan imidlertid kondensvannet akkumuleres som is, og senere komme til syne som «lekkasjer» når utetemperaturen øker og isen smelter.

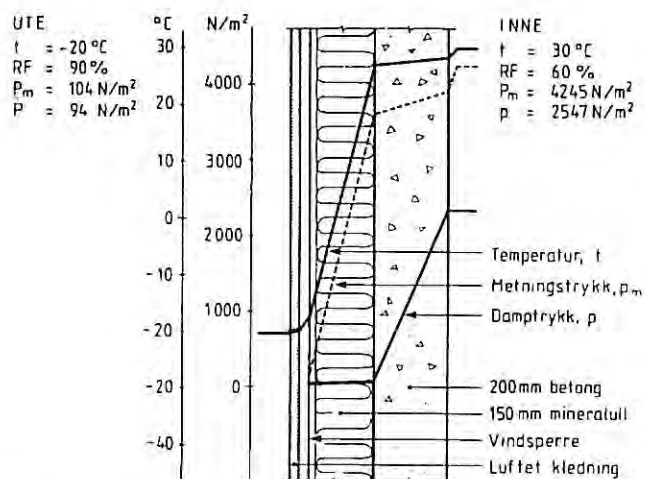
I rom med høy temperatur,  $> 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , f.eks. bade- og svømmeanlegg, bør relativ luftfuktighet, RF, holdes under 60 % ved hjelp av luftavfuktingsanlegg. Denne øvre grensen for RF anbefales både av hensyn til brukerne og for å unngå korrosjon og andre skader på bygningskonstruksjonene.

Skaderisikoen kan reduseres ved å velge gode byggetekniske løsninger, men også ved å redusere påkjenningene. En viss undertrykksventilasjon kan langt på vei eliminere luftlekkasjer innenfra og ut, som er den vanligste formen for fukttransport. Luftavfuktingsanlegg reduserer vanddamptrykket og dermed oppfukning ved diffusjon. Lavere vanddampinnhold i luften fører mindre fukt med seg ut i konstruksjonen ved ev. luftlekkasjer.

## 2 ANBEFALTE PRINSIPPLØSNINGER

### Prinsipper for oppbygning av ytterkonstruksjonene

All skadelig fukttransport kan hindres ved å velge riktig kombinasjon av varmeisolasjon og materialer med tilstrekkelig damp- og lufttetthet. I prinsippet løses dette ved å plassere et diffusjons- og lufttett materiale, vanligvis en egen *dampsperre*, på den varme siden av isolasjonen, og en dampåpen *vindsperre* på den kalde siden. Vindsperren skal beskytte isolasjonen mot inntrengning av kaldluft, men ha lav dampmotstand slik at fukt kan slippe ut. Med denne oppbygningen blir damptrykket lavere enn metningstrykket i alle sjikt i konstruksjonen, og kondensasjon vil ikke oppstå, se eksempel i figur 2.



Figur 2 Veggkonstruksjon med kurver for temperatur, damptrykk og metningstrykk

For at dette skal fungere også i praksis er det avgjørende at sperresjiktene, og spesielt den innvendige dampperren, blir kontinuerlig tett, dvs. uten utette skjøter og hull pga.

gjennomføringer og skader under byggingen. *Det er dette som er utfordringen både for de prosjekterende og de utførende.*

### **Hovedbæresystemet**

Hovedbæresystemet (søylar, buer, rammer, bjelker m.v.) bør ligge inne i rommet slik at de varmeisolerende bygningsdelene og sperresjiktene blir ført kontinuerlig forbi og utenpå. Med dette hovedprinsippet oppnås bl.a. følgende fordeler:

- Dampspærren kan utføres med et minimum av skjøter og gjennomføringer.
- Kuldebroer elimineres i stor grad.
- Hovedbæresystemet blir liggende i et tilnærmet stabilt innneklima slik at uheldige temperaturspenninger unngås.

### **Dampsperre**

De isolerende bygningsdelene må plasseres slik at det *blir enklest mulig å montere* et kontinuerlig og lett kontrollerbart dampspærresjikt i vegger og tak.

Utettheter i det innvendige sperresjiktet (dampspærresjiktet) må unngås. Selv små hull kan få katastrofale følger (lokale luftlekkasjer kan transportere store mengder fukt utover i konstruksjonen). I lette konstruksjoner anbefaler vi derfor at innvendig kledning og himling lektes ut slik at spiker og andre festemidler ikke perforerer dampspærren. Man kan med fordel fylle isolasjon i hulrommet mellom innvendig kledning og dampsperre. Forutsetningen er da at temperaturen på dampspærren, etter isolering, blir høyere enn metningstemperaturen for inneluften.

## **3 YTTERVEGGER**

### **Tunge vegger**

Erfaringene viser at løsninger med tunge veggkonstruksjoner som er isolert på utvendig side er minst skadeutsatt. I rom med spesielle fuktpåkjenninger bør tunge veggkonstruksjoner helst kombineres med tunge takkonstruksjoner.

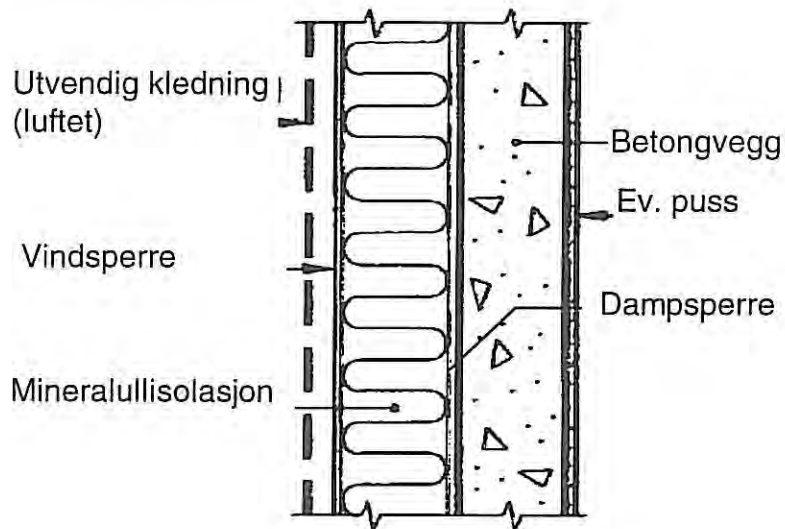
Regnet innenfra bygges tunge vegger i prinsippet opp med:

- veggskive av plasstøpt betong, betongelementer, lettbetongelementer, ulike former for murverk m.v. Overflaten må være tett betong eller en tett puss, spesialmaling eller annen tett overflate som kan fungere som dampspærresjikt.
- ev. dampsperre (se punktene under)
- varmeisolasjon
- vindsperre
- utvendig kledning. Man bør bruke luftet kledning der dette er mulig.

#### *Vegger av armert betong*

Vegg av armert betong støpt på stedet, og som er fri for sprekker, sår osv., kan vanligvis regnes som tilstrekkelig god dampsperre. I lokaler med spesielle fuktpåkjenninger bør man allikevel vurdere å montere dampsperre mellom isolasjon og betong. Byggfukten i betongen blir dermed hindret i å fordampe utover mot kald side, hvor den kan skape fuktproblemer.

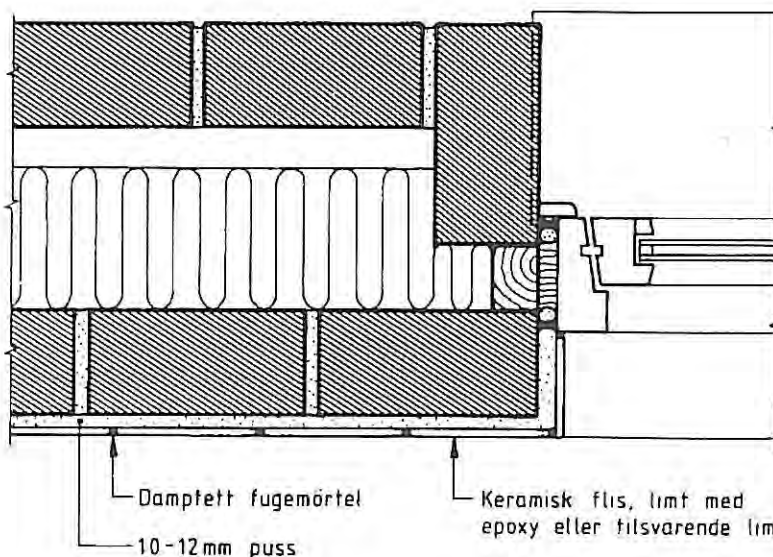
Dessuten blir det enklere å få til en sammenhengende og tett dampsperre i overgangen mellom tak/vegg. Se figur 3.1.



Figur 3.1 Vegg av betong, utvendig varmeisolering

#### Skallmurvegger

Veggene kan være av teglstein eller blokker av betong eller lettklinkerbetong. For skallmurvegger må *dampettingen* utføres i forbindelse med *overflatebehandlingen av den varme siden*, f.eks. med en tett puss og maling, eller glassert, keramisk fliskledning med fugemørtel på herdeplastbasis, f.eks. epoksy. Se figur 3.2. Dampsperre på utsiden av innvendig murvange frarådes pga. fare for perforering fra bindere og problemer med tilslutning til dører og vinduer.

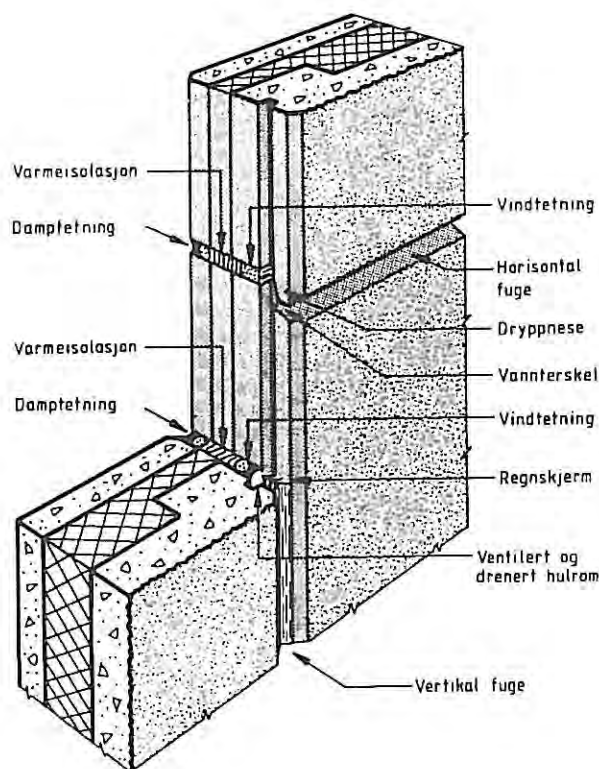


Figur 3.2 Horisontalsnitt. Eksempel på utvendig isolert murt vegg

### Prefabrikkerte veggelementer av betong

De kritiske punktene i slike vegger er fugene og detaljene omkring vinduer og andre åpninger i veggen.

Monteringsfugene mellom betongelementene må ha to-trinns tetting. Det samme må krysningspunktene mellom horisontale og vertikale monteringsfuger mellom elementer. Tetningen må utføres sammenhengende også gjennom etasjeskiller slik at vanndamp og rennende vann ikke kan ta seg ut til varmeisolasjonen i fugene. Damptetningen må ligge innenfor varmeisolasjonen hele veien rundt. Kuldebroer ved oppheng av betongelementene, konsoller m.v. må unngås. Se figur 3.3.



Figur 3.3 Prinsipp for fugetetting i betongelementer. Utvendig to-trinns tetting. Innvendig fugetetting (dampetningen) må være lett tilgjengelig slik at alle fuger kan utføres riktig.

### Lette vegger

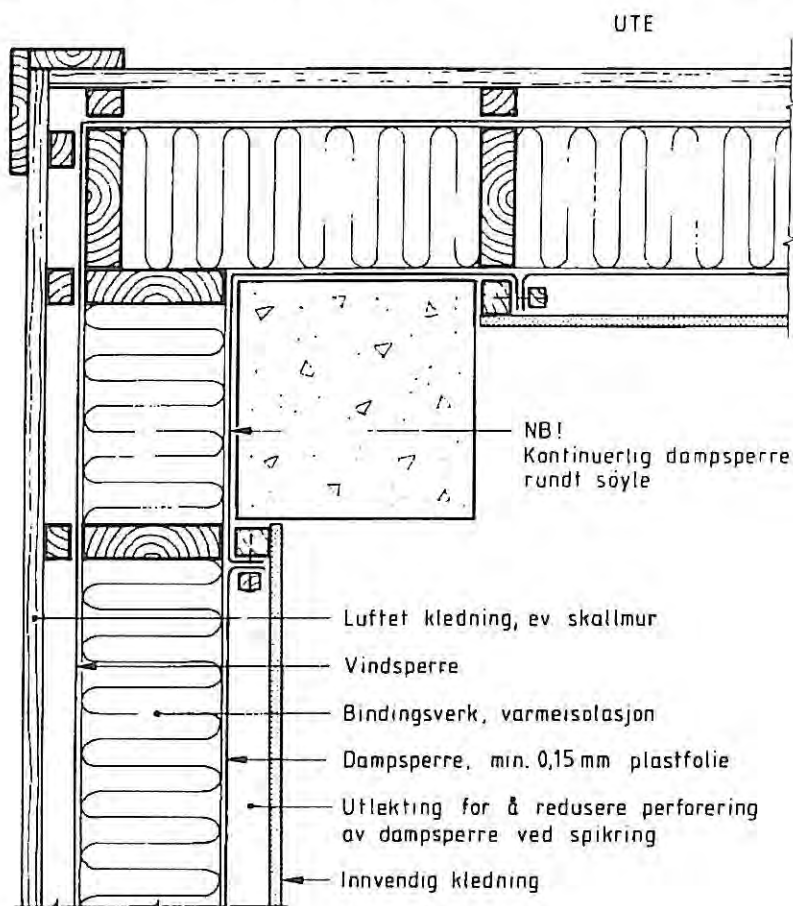
#### Generelt

Lette vegger bør ikke brukes i rom hvor det forekommer direkte vannsprut på veggene. I svømmehaller, hvor det *ikke* forekommer dampspyling av veggene, kan man imidlertid benytte lette vegger med f.eks. gipsplater, forutsatt at de tapetseres med damp tett plasttapet, og at de beskyttes mot mekaniske påkjenninger. Gipskledning kan også kles med flis, men må da fuktbeskyttes.



### Bindingsverk av tre eller tynnplateprofiler av stål

Selve bindingsverket bygges på tradisjonell måte. Plasseringen av dampsperre og de praktiske løsningene for å få den tett på byggeplassen, *må planlegges spesielt*. Det pekes særlig på overganger til andre bygningsdeler, gjennomføringer o.l., se figur 3.4.



Figur 3.4 Prinsipiell oppbygning av bindingsverksvegg. Mot romsiden kan det med fordel monteres en utlektet kledning som beskyttelse for dampsperran. Hulrommet kan fylles med isolasjon (se punkt 2).

### Veggelementer av f.eks. stålkassetter

Elementene må ha utlektet kledning, dvs. at fugene får en to-trinns tetting. Fugene mellom elementene må tettes ekstra godt. Dette gjelder både horisontale og vertikale fuger, samt krysningspunkter og tilslutninger mot andre bygningsdeler. Tettesjiktet i de ulike konstruksjonsdelene må danne et sammenhengende tettesystem. I praksis har det vist seg vanskelig å oppnå tilfredsstillende tetting i elementfugene. *Vi advarer mot å bruke slike elementer i bygninger for våte rom.*

### Vinduer

Vinduene er den bygningsdelen som er dårligst isolert og derfor alltid har lavest overflatetemperatur, spesielt nederst på glassoverflaten. Faren for kondensasjon er altså størst der. I rom med høy relativ luftfuktighet bør man alltid velge vindusprofiler og ruter med lav U-verdi og høyest mulig randtemperatur.

I lokaler med store fuktpåkjenninger og høy romtemperatur (f.eks. bade- og svømmeanlegg med  $t = 30\text{ °C}$  og  $RF = 60\%$ ), vil det alltid være risiko for kondensdannelse på vinduene. Vinduspartiene må derfor bestrykes med avfuktet, varm tilluft. Vanligvis er dette helt nødvendig i alle rom med  $RF > \text{ca. } 40\%$  hvis rutene skal være kondensfrie også ved minusgrader.

*Ventilasjonsanlegget bør derfor planlegges med tilluftsventiler i underkant av vinduene.*

Det anbefales generelt at *arealet av vindusflatene begrenses til et minimum*, og at ev. vinduer får en samlet og sammenhengende plassering i veggen for å få færrest mulige overganger mellom vindu og vegg. De bør også plasseres lengst mulig inn mot rommet for å unngå kjølige luftlommer i overgang vegg/vindu. Vinduene bør settes slik i veggen at de ikke utsettes for direkte vannsprut.

Alle bunnkarmer og horisontale vindusposter bør ha fall ut i rommet slik at ev. kondensvann renner vekk fra vinduene. Det bør ikke monteres gardiner som skjærer for og kjøler ned glassflaten.

De innvendige monteringsfugene må tettes omhyggelig.

## 4 TAK

### Tunge tak

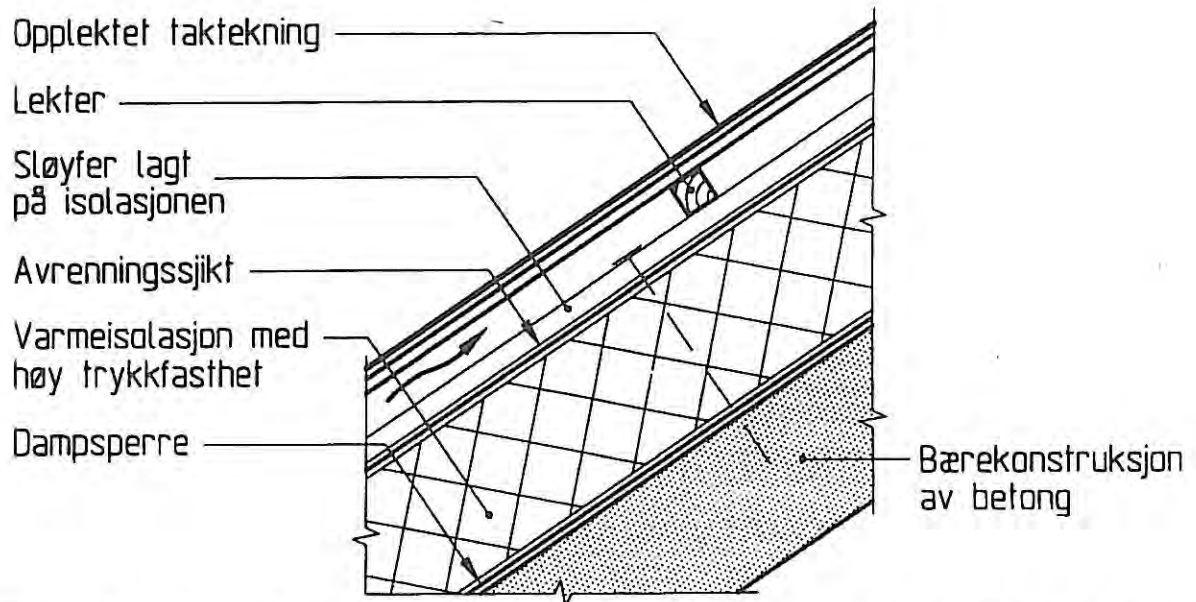
For lokaler med spesielle fuktpåkjenninger viser erfaringene at løsninger med utvendig isolerte tunge takkonstruksjoner er minst skadeutsatt.

Regnet innenfra har tunge tak vanligvis følgende oppbygning:

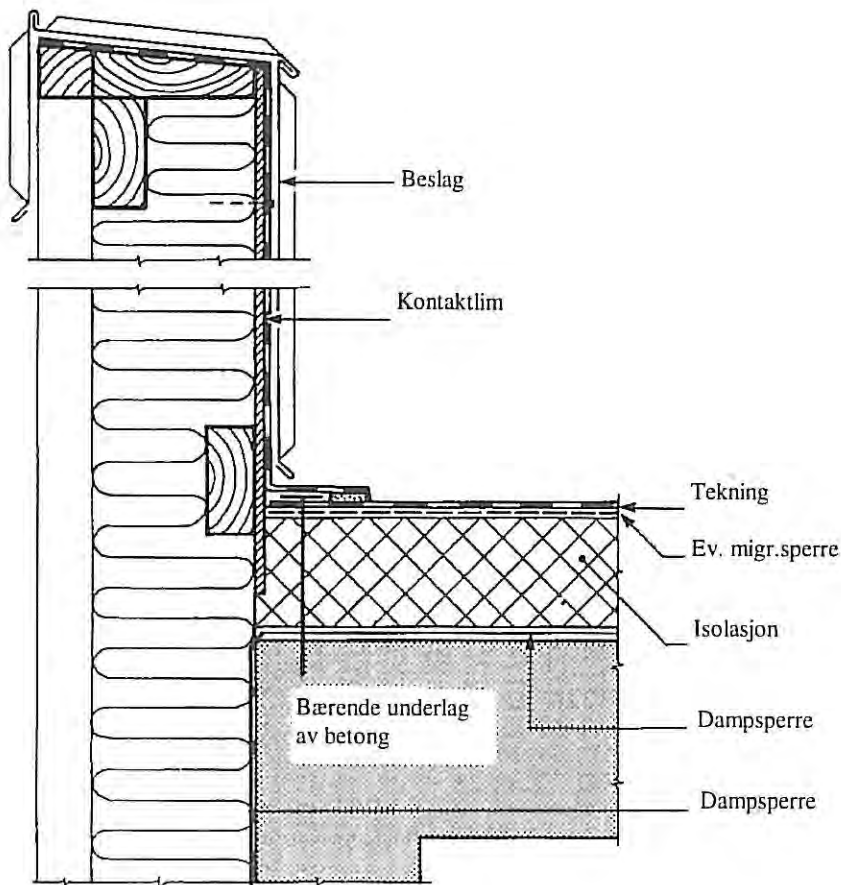
- betong eller betongelementer med dampnett overflate
- dampsperrsjikt
- varmeisolasjon
- tekning (alternativt vindsperre, lufting, taktro og tekning)

### *Tak av armert, plasstøpt betong*

Takutstikk, ev. parapet, bygges opp separat for å unngå kuldebroer i betongkonstruksjonene. I rom hvor luftfuktigheten ligger nær metningspunktet, må det alltid monteres dampsperr på oversiden av bærende betongkonstruksjon, se figur 4.1 og figur 4.2. Generelt bør dette gjøres i tak over alle typer lokaler.



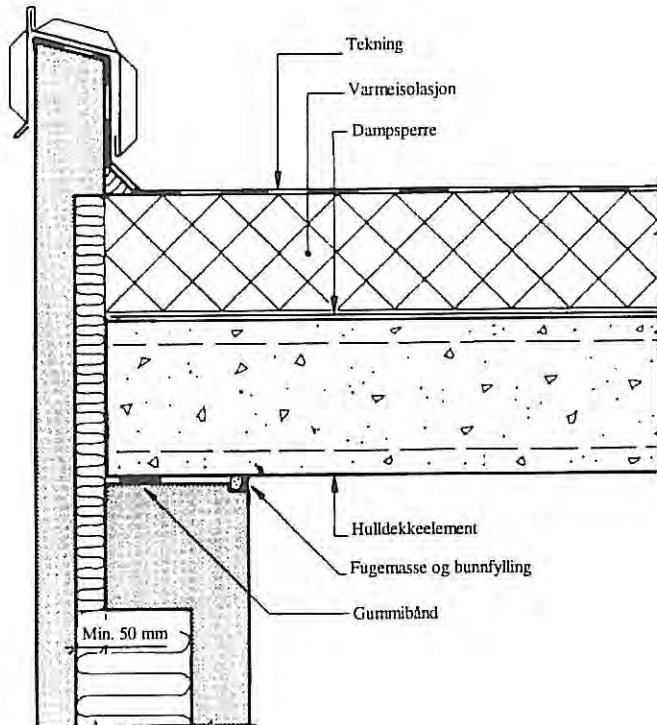
Figur 4.1 Prinsipiell oppbygning av isolert, skrått tak med utvendig nedløp, der isolasjonen er lagt på oversiden av bærekonstruksjonen. Minste takvinkel vil avhenge av detaljløsningen, men må normalt være over ca. 15°.



Figur 4.2 Vegger og tak av betong støpt på stedet og isolert utvendig. Parapet må bygges opp slik at kuldebroer ikke oppstår.

### Betongelementer, lettbetongelementer

Betongelementer kan f.eks. være hulldekkeelementer eller DT-elementer. Det har vært en del problemer med kondensasjon i forbindelse med tak av betongelementer pga. kuldebroer i konstruksjonen, spesielt i overgangen mellom tak og vegg. Ved prosjekteringen må det legges særlig vekt på helt å unngå kuldebroer, se figur 4.3. Et typisk problempunkt er fugene. Elementfugene må være tette. Spesielt i overgangen mellom tak/vegger er tette fuger ofte problematisk å få til. Dette må planlegges spesielt på forhånd.



Figur 4.3 Overgang mellom elementvegger og elementtak. I slike konstruksjoner er det vanskelig helt å unngå kuldebroer, men de kan svekkes betraktelig ved isolering. Ved store, innvendige fuktbelastninger kan kuldebroer helt unngås når huset isoleres utvendig

Bærende lettbetongelementer er varmeisolerende og vil dermed senke overflatetemperaturen på dampspærren. Fram til nå (etter Byggeforskrift 1987) har det vært aktuelt å oppdimensjonere varmeisolasjonen over dampspærren for å sikre at overflatetemperaturen ligger over metningspunktet for vanddampen i luften under taket. Det samme har vært aktuelt ved bruk av treullsementplater som akustisk himling. Etter den nye byggeforskriften (Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1997), hvor kravet til isolering av tak er økt, er dette neppe lenger en aktuell problemstilling.

### Lette tak

Generelt kan man si at lette tak, spesielt luftede tak, over rom med store fuktbelastninger er *mer utsatt for fuktskader enn tunge tak*. Årsaken ligger primært i at lette takkonstruksjoner er mer sårbare for luftlekkasjer enn tunge, kompakte takkonstruksjoner. Skal en benytte lette takkonstruksjoner over

fuktige lokaler, bør det kombineres med lette ytterveggskonstruksjoner. Praksis har nemlig vist at kombinasjonen av tunge vegger og lette tak er vanskelig å utføre slik at det blir tilstrekkelig tetthet i overgangene mellom tak/vegg.

Fordi det oftest er overtrykk oppe under taket, settes det svært strenge krav til takkonstruksjonens tetthet. Konstruksjonsoppbyggingen med innvendig sperresjikt (dampsperre) må derfor planlegges omhyggelig.

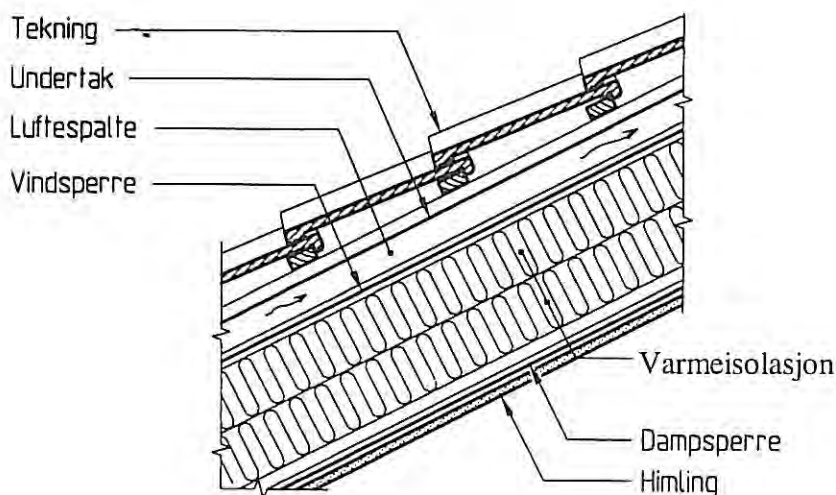
Regnet ovenfra bygges lette tak opp slik:

- tekning (alternativt tekning, undertak, lufting og vindsperre)
- varmeisolasjon
- dampsperre
- innvendig himling

#### Tretak

Mange skader har oppstått i takkonstruksjoner av tre over fuktige lokaler fordi det i praksis er vanskelig å få dampsperren tilstrekkelig tett, spesielt i overgangen tak/vegg og ved gjennomføringer. Tretak må alltid gis uttørkingsmuligheter og utføres derfor med dampåpen vindsperre over varmeisolasjonen, og luftet, oppfôret undertak med tekning.

Over fuktige lokaler bør tretak alltid utføres med all isolasjon og sperresjikt montert kontinuerlig over bæresystemet. Prinsipp for oppbygning av tretak er vist på figur 4.4. Alternativt kan tretak luftes mellom tekning og undertak, forutsatt at det benyttes kombinert undertak/vindsperre. Det tradisjonelle tretaket (figur 4.4) regnes for å være sikrere.



Figur 4.4 Oppbygning av tretak med isolasjon i takflaten og opplektet taktekning. Alternativ med luftespalte mellom undertak og isolering. Løsningen forutsettes montert på det underliggende hovedbæresystemet, som kan være tre, stål eller betong.

Et alternativ til det tradisjonelle tretaket er en ny type tretakkonstruksjon som er under utvikling. Også her er løsningen basert på at all isolasjon og sperresjikt ligger over det

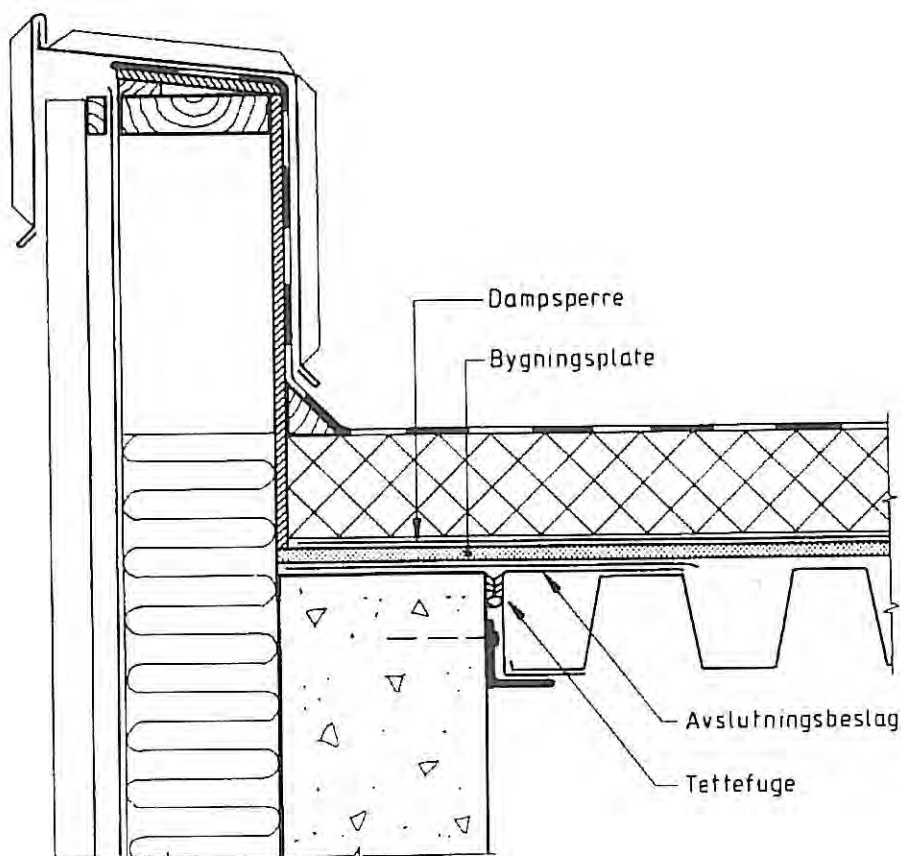


underliggende hovedbæresystemet. I stedet for sperrer med mellomliggende lett isolasjon, kan det brukes trykkfast isolasjon på et underlag av bord/plater med ett lag takbelegg. Løsningen, som ikke inneholder noe treverk i det isolerende sjiktet, har dermed langt større sikkerhet mot fuktskader.

### *Stålplatetak*

Kompakte tak på bærende stålplater er utsatt for en del fuktproblemer. De svakeste punktene er i overgang vegg/tak, hvor det ofte er svært vanskelig å oppnå tilfredsstillende løsninger. Spesielt i platenes endeopplegg i gavlveggene er dette vanskelig. Dersom slike tak skal anvendes over fuktige lokaler, må slike detaljer planlegges omhyggelig på forhånd.

Med korrugerte stålplater som bæring i tak anbefales det å legge en plate, f.eks. porøs trefiberplate e.l., på stålplatene for å få et plant underlag for dampsperrer, se figur 4.5. Over fuktige lokaler bør det legges ett lag takbelegg som dampsperrsjikt. I tillegg til å fungere som en foreløpig tekning i byggeperioden, er det lettere å oppnå tilfredsstillende tetthet i skjøter og rundt gjennomføringer.



*Figur 4.5 Tak med korrugerte stålplater*

### *Prefabrikkerte takelementer*

Elementene må bygges opp slik at fukt kan tørke ut. Man må dessuten legge vekt på å oppnå tilstrekkelig damp-/lufttetthet i og rundt monteringsfugene. I praksis er disse detaljene vanskelige å få til, og det er registrert en del skader som følge av utette monteringsfuger. *Det advares derfor sterkt mot å bruke takelementer av tre eller stål over lokaler med spesielle fuktpåkjenninger.*

### *Overlys*

Overlys, dvs. takvinduer eller glasstak, i lokaler med spesielle fuktpåkjenninger gir ofte fuktproblemer. Uten spesielle tiltak vil det alltid dannes kondens på rutene. I tillegg er rutene også utsatt for ekstra fuktpåkjenninger fra utvendig side, bl.a. pga. vann fra smeltet snø. Vi advarer derfor mot ukritisk bruk av overlys i denne type lokaler.

## **5 LITTERATUR**

Byggdetaljer og Byggforvaltning:

421.132 Fuktmekanikk

523.002 Yttervegger. Typer og egenskaper

523.231 Skallmurvegg med vanger av murstein og murblokker

525.002 Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materialer

527.245 Rom med høy fuktbelastning

700.110 Byggskader. Oversikt

Rapporter/publikasjoner:

Svømmehaller. Erfaringer, skader, utbedringsforslag. Norges byggforskningsinstitutt, Rapport 96. Oslo, 1985

Trehus. Norges byggforskningsinstitutt, Håndbok 45. Oslo, 1997

# OPPBYGGING AV VÅTROM – TEKNISKE LØSNINGER

Ing. Bjørn Bakken

## 1 BAKGRUNN

Det er vel kjent for de fleste at det forekommer en rekke skader i våtrom. Vanlige skader er rørlekkasjer, sluklekkasjer, belegg som løsner, gipsplater som løser seg opp, bjelkelag som råtner osv.

Skader som oppstår ved normal bruk av våtrom, f.eks. dusjing med vannsprut på golv og vegger, dekkes ikke av forsikring. Vi antar at det blir utført arbeid i våtrom pga. rehabilitering og skader for ca. 1 milliard kroner pr. år. Trolig utgjør rundt halvparten av dette fornying av bad, mens resten skyldes skader. Disse pengene kunne vært bedre utnyttet. Dessuten er det brukeren som i hovedsak bærer kostnadene, da forsikring kun dekker plutselige rørbrudd o.l.

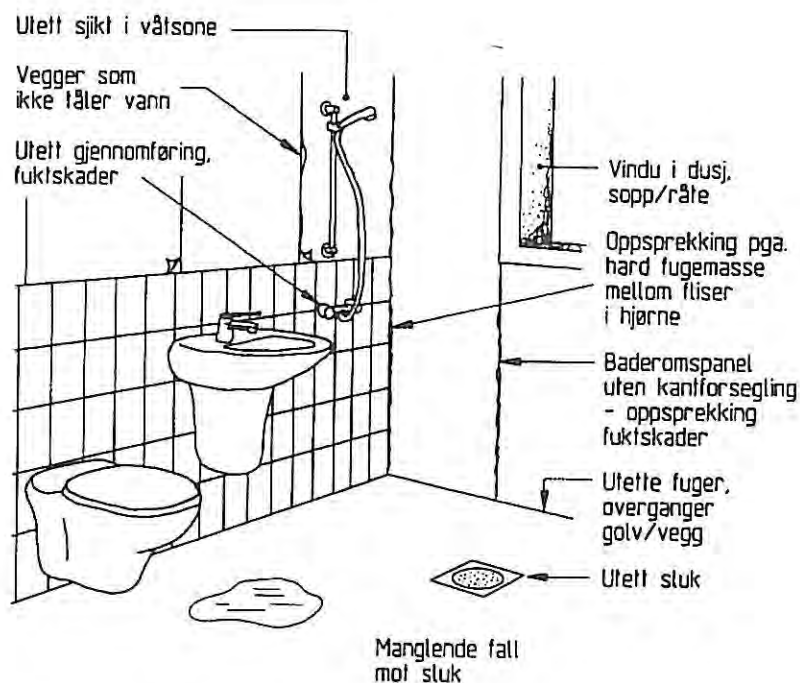
## 2 TYPISKE SKADER

På skadebefaringer registrerer vi noen skader som går igjen på de fleste bad. Skadene er som oftest av en type som det i utgangspunktet hadde vært lett å forhindre ved å følge anvisningene i blad i Byggforskserien og Byggebransjens våtromsnorm (BVN).

Her må også nevnes at endrede bovaner øker fuktbelastningen på eldre baderomsgolv. Nye bo- og hygienevaner innebærer at det dusjes mer enn før. Badekar blir fjernet og det lages dusjniser hvor vannet renner direkte på betonggolv uten at man har vurdert tettheten på forhånd. Normalt kan *ikke* betonggolv betraktes som tette. De må overflatebehandles dersom de utsettes for vannpåkjenning.

De vanligste feil og mangler er opplistet nedenfor og illustrert i figur 1:

- Golvet mangler fall. Vannet blir stående i dammer på golvet slik at det kan renne ned ved f.eks. dørterskler.
- Golvmembranen er gjennomhullet eller montert slik at den ikke går tilstrekkelig høyt opp på vegger og gjennomføringer.
- Membranen mangler i golvet.
- Membranen mangler i veggens våtsoner.
- Manglende eller dårlig tetting ved rørgjennomføringer i golv og vegg.
- Manglende eller dårlig tilslutning til sluk.
- Feil med sluk eller tilkobling av avløpsrør.
- Lekkasje i rørkoblinger -og skjøter.



Andre skader og feil:

- Tette golvbelegg på betonggulv - blærer
- Varmekabler - misfarging på belegg, spesielt under golvmatter
- Galt underlag - løse fliser
- Høy luftfuktighet, manglende ventilasjon
- Manglende membran

*Figur 1 Steder som er spesielt utsatt for fukt og lekkasjeskader i våtrom*

## Golv

En typisk årsak til skade på golv er at tettesjikt og membran ikke fungerer eller er ødelagt.

Grunnen kan være:

- gal montering eller at membranen ikke er brettet opp langs vegg
- manglende tetthet i membranskjøtene og mot sluk
- punktering av membran, f.eks. ved feste av sanitærutstyr eller gjennomføring av varmekabler
- manglende membran på fuktpåkjente steder

Andre problemer som registreres, er at:

- Vannet trenger ned i undergolvet fordi keramiske fliser er lagt på golv uten membran.
- Tette golvbelegg blærer fordi de er lagt på et for fuktig underlag.
- Vinylbelegg misfarges på golv med varmekabler fordi temperaturen blir for høy pga. tildekking med tepper, skittentøy m.m.
- Det oppstår følgeskader ved at vannet renner til rom utenfor badet fordi golvet mangler fall mot sluk og/eller at membranen ikke går høyt nok opp på vegg/terskel.
- Keramiske fliser løsner fordi underlaget ikke er egnet for flis.
- Fuger og skjøter i membranen er utette.

## **Vegg**

Skader opptrer hyppigst der veggene utsettes for direkte vannpåkjenning, f.eks. i dusjniser, bak badekar o.l. Problemene oppstår der vanntettingen er for dårlig utført. Svake punkter er:

- plateskjøter
- hjørner
- materialoverganger
- rørgjennomføringer og monteringshull

Fukten kan spres mot tilliggende rom og forårsake skader. Bygningsplater (gips spon, trefiber m.m.) og trebaserte materialer ødelegges.

Problemer oppstår også fordi:

- Vegger med keramiske fliser som utsettes for vann, er uten eller har mangelfull membran. Dette resulterer i fuktskadd underkledning og løse fliser.
- Baderomspanel uten kantforsegling får oppsprekking, delaminering og svelling.
- Underlaget er ikke egnet for flis, slik at fliser løsner.
- Det er benyttet fuktsperre (S-væske) i stedet for membran, eller membran/beleggskjøter er utette.
- Det er utettheter i overgangen golv/vegg.

## **Tilslutning til sluk**

I overgang mellom sluk og vanntettende sjikt i golv får man ofte lekkasjer. Feil med klemring/montering i overgangen mellom sluk og belegg/membran er et hyppig registrert problem. Feilen kan være utilstrekkelig feste ved montering, sluket er ikke tilpasset tykkelsen på belegget eller membranen, eller belegget er skåret feil slik at kanten ikke dekkes.

## **Utette koblinger**

Utette koblinger skyldes vanligvis utførelsesfeil, som f.eks.:

- dårlig loddeforbindelse (manglende rengjøring)
- presskoblinger som er så hardt trukket til at de sprekker opp
- stadig nye sammenføyningsprodukter med mangelfull informasjon og opplæring om anvendelsen

## **Ventilasjon**

Manglende eller for dårlig ventilasjon kan resultere i fuktskader og mugg/sopp på bl.a. veggoverflater.

## **Materialer**

De mest vanlige overflatematerialene som også skal danne tettesjikt eller vannavvisere i våtrom, er listet opp nedenfor.



### *Vanntett vinylbelegg*

Vinylbelegg i baner av typen våtromsbelegg er mye brukt som belegg i våtrom. Beleggene er vanntette. Lekkasjer kan imidlertid opptre ved skjøter i belegget, ved sluk, rørgjennomføringer og monteringshull (f.eks. skruer for feste av klosett).

### *Våtromstapet*

Tapetene består vanligvis av tekstil med et tynt lag med vinyl som tettesjikt. Skjøtene legges kant i kant eller med overlapp.

Skader opptrer i soner med vannsprut. Vannet trenger gjennom skjøtene, med avflaking som resultat. Fuktskader oppstår på underliggende materialer. Tynne tapeter er utsatt for sprekker ved plateskjøter eller rifter m.m. fra mekanisk slitasje. I noen tilfeller er også plastsjiktet stedvis slitt bort i forbindelse med renhold.

### *Malt glassfiberstrie*

Glassfibervev limes på underlaget og overmales med et malingsystem.

Skader opptrer pga. at den ruglete overflaten gjør det vanskelig å få malingssjiktet tett. Glassfiberveven løsner fra underlaget ved skjøter og langs kanter. Ru flate vanskeliggjør renholdet og gir gunstige vekstvilkår for muggsopper.

### *Baderomspanel*

Skader opptrer i soner med mye vannsøl. Skjøter og underkanter trekker fuktighet. Svelling og råte i trekjernen oppstår.

Fuktinntrengning skyldes manglende forsegling av skjøter og kanter.

## **Materialkombinasjoner**

Det kan ikke understrekes sterkt nok at valg av både *riktig materiale* og *utførelse* er viktig for å oppnå et godt resultat. Det hjelper lite å velge gode materialer dersom utførelsen er for dårlig pga. slurv eller manglende kunnskaper.

I våtrom er tetthet den viktigste egenskapen. Konstruksjoner/materialer må være tette slik at ikke vann fra rommet ledes ut i tilstøtende konstruksjoner og ødelegger disse.

Det er først og fremst ulik fuktbevegelse i materialer som kombineres, som kan skape problemer. Viktigst er kombinasjonen membran/underlag. Membranen skal sørge for at vann ikke trenger inn i konstruksjonen. Man må derfor enten velge overflatemateriale og membran som fungerer sammen med underlaget, eller et underlag som er tilpasset overflatemateriale og membran.

Et eksempel på uheldig materialkombinasjon er fuktige sponplater (eller andre platetyper som i konstruksjonen får store fuktbevegelser) sammen med keramiske fliser. Selv om membranen (som *alltid* skal ligge under fliser i et fuktpåkjent område) har en viss fleksibilitet til å ta opp en del av underlagets bevegelser, er det sjelden nok til å ta de store fuktbevegelserne i en sponplate. Resultatet er ofte at flisene løsner. En bedre kombinasjon er flis og gipsplater (som har små fuktbevegelser), mens en homogen vinyl (*uten* bærer) ville ha fungert på sponplaten.

### 3 FORSKRIFTSKRAV AV 1987 OG 1997

#### *Byggeforskrift av 1987*

I Byggeforskriften av 1987 ga myndighetene oss lite å forholde oss til når det gjelder våtrom. Byggeforskriftene satte følgende krav:

41:5 Underordnede rom

41:51 *Sanitærrom*

41:511 Baderom og dusjrom skal ha vanntett golv. Vaskerom for flere enn én boenhet skal ha vanntett golv

Forskriften kom med et rent funksjonskrav og ga ingen anvisning for hvordan det kunne oppnås. *Forskriftene omtalte ikke vegger i våtrom.*

Det er opp til de lokale bygningsråd å eventuelt godkjenne materialer og konstruksjoner til bruk i våtrom. Det er ikke etablert prøvningsregler m.m. som var en forutsetning da funksjonskravene ble innført i byggeforskriften. Bygningsrådene har derfor ikke hatt noe godt verktøy til å bedømme ulike materialer. Faren for feilbedømmning av et materiale eller konstruksjon har derfor vært stor. Muligheten for ulik behandling i de forskjellige kommunene kan også ha vært til stede.

#### *Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (pbl)*

I de nye forskriftene står det under § 8-37 *Fukt* :

#### *3. Våtrom*

Bad og vaskerom skal ha sluk. Rom med sluk skal ha golv med tilstrekkelig fall mot sluk for de deler av golvet som må antas å bli utsatt for vann regelmessig.

Golv, vegger og tak som kommer til å bli utsatt for vannsøl, lekkasjevann eller kondens, skal utføres med fuktbestandige overflatematerialer. Bakenforliggende konstruksjoner og rom som kan påvirkes negativt av fukt skal være beskyttet av et vanntett overflatemateriale eller egnet vanntett sjikt. Materialer velges slik at faren for mugg- og soppdannelse er minimal.

Det nye forskriftskravet er selvfølgelig fremdeles funksjonskrav. Nå er imidlertid vegger (og tak) kommet med. Dermed er det enklere å kreve at hele rommet skal fuktsikres. I tillegg krever de nye forskriftene at bad og vaskerom skal ha sluk.

### **Veiledning til teknisk forskrift til pbl av 1997**

I «Ren veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997» under § 8-37 står det:

#### **3. Våtrom**

Fuktømfintlige materialer som sponplater og linoleum bør ikke brukes i våtrom. Se også *Byggebransjens våtromsnorm* utarbeidet av Fagrådet for våtrom med sekretariat ved Byggforsk.

Ifølge den tekniske forskriften skal bad og vaskerom ha sluk. Sluk i gulv må være festet i gulvet på en slik måte at det ikke oppstår bevegelse mellom sluk og underlag. Det må være tilfredsstillende fall på gulv mot sluk. Tilfredsstillende fall vil være 1:50 minst 0,8 m ut fra sluket.

Våtrom må ha vanntett gulv. Tilfredsstillende vil være sveiset plastbelegg eller keramiske fliser med membran. Gjennomføringer i membraner o.a. bør utføres med spesiell omhu, slik at funksjonen opprettholdes.

#### **4 BYGGBRANSJENS VÅTROMSNORM**

Veiledningen viser altså til Byggebransjens våtromsnorm (BVN). Jeg vil derfor informere litt om det som av mange er kalt «Veien til bedre våtrom». Byggebransjens våtromsnorm er utarbeidet av Fagrådet for våtrom (FFV), som er en tverrfaglig og uavhengig medlemsorganisasjon med ideell oppgave å bidra til å redusere våtromsskader.

Bakgrunnen for Byggebransjens våtromsnorm (BVN) er at flere fagmiljøer så behovet for å samordne sin satsing på å forbedre kvaliteten på våtrom. BVN var tenkt som et verktøy for planlegging og utførelse i den hensikt å heve kvaliteten på våtrom både når det gjelder funksjon og varighet. Nøkkelord i den forbindelse er valg av riktige materialer og løsninger, samt samarbeid mellom de syv ulike faggruppene som utfører arbeidet i våtrommet.

Normen krever at fagarbeider, faglig leder og prosjekterende skal gjennomføre *Grunnkurs våtrom* (modul 1) og bestå en avsluttende eksamen. For å få til et godt samarbeid mellom de ulike fagene, skal kursene ha tverrfaglig deltakelse. Minst tre fag skal være representert, og en faggruppe skal ikke utgjøre mer enn 50 % av deltakerantallet. Etter kurset får fagarbeidere et sertifikat med påskriften «Godkjent fagarbeider», faglig leder og prosjekterende får et kursbevis. Faglig leder uten formell utdanning som fagtekniker, ingeniør, sivilingeniør eller sivilarkitekt skal i tillegg gjennomgå *Lederkurs våtrom* (modul 2), og prosjekterende skal gjennomgå *Prosjekteringskurs våtrom* (modul 3). Kandidater med fullført kurs og bestått eksamen for disse modulene, får tildelt et kursbevis. Bedrifter med faglig leder som har ovennevnte kvalifikasjoner, kan etter søknad bli *Godkjent bedrift*.

Byggebransjens våtromsnorm vil stadig være under utvikling og utvidelse. Den er derfor laget som et løsbladsystem slik at brukere lett kan sette inn nye blad og ta ut blad som blir erstattet. BVN suppleres med ca. fem nye eller reviderte blad i året. Det sier seg derfor selv at det vil ta noe tid før de fleste materialer og løsninger som anbefales brukt i våtrom blir å finne i Våtromsnormen.

Våtromsnormen utgis som en abonnementsordning gjennom Norges byggforskningsinstitutt (NBI). Fagrådet for våtrom står ansvarlig for det faglige innholdet.

## 5 VÅTROM

### Definisjon

I videste forstand er våtrom alle rom med vann- og avløpsinstallasjoner. I Byggebransjens våtromsnorm (BVN), blad 11.100 pkt. 211 *Omfang*, har man valgt å begrense våtrom på følgende måte:

Våtromsnormen omfatter hele våtrommet i boliger, kontorer og institusjoner både med hensyn til materialer, utstyr og utførelse; det vil si det ferdige produktet. Foruten rom hvor byggeforskriften i dag (1995) forlanger vanntette golv, omfatter Våtromsnormen også vaskerom i boliger.

Ovennevnte gjør at man inntil videre ser bort fra kjøkken i bolig, storkjøkken, næringsmiddelindustri m.m.

***De løsningene m.m. som er behandlet i det etterfølgende, baserer seg på definisjonen i Byggebransjens våtromsnorm.***

### Planlegging av våtrom

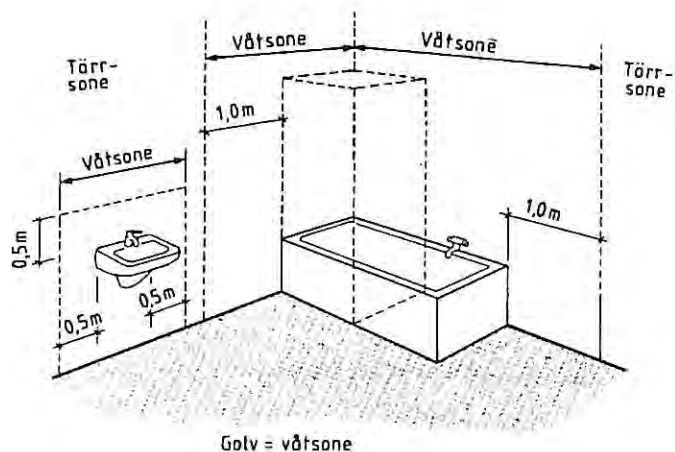
Konstruksjonsutforming, f.eks. fall, sokkeloverganger, gjennomføringer m.m kan utformes slik at de får betydning for bl.a. renholdet. Feil eller dårlig utførelse av disse detaljene har dessuten hovedansvaret for de skadene som registreres i våtrom.

#### *Våte og tørre soner*

Materialer i våtrom får ulik vannpåkjenning. Når baderommet planlegges, bør man derfor dele rommet inn i *våte* og *tørre* soner.

- **Golv** med overganger klassifiseres alltid som *våt sone*, fordi vann kan flomme utover hele golvet ved f.eks. uhell eller rørbrudd.
- **Vegger** i dusjområder, bak servanter osv. blir usatt for betydelig mer fukt enn rommet for øvrig. Dette må man ta hensyn til ved valg av materialer og konstruksjoner til veggene.
- Hvis baderommet er lite og/eller romløsningen gir mulighet for senere ominnredning, bør alle veggflater defineres som våtsoner.
- I våte soner må det velges riktige systemer av tettesjikt.

Soneinndelingen er vist i figur 2.



Figur 2 Soneinndeling hvor det er angitt minsteareal for de våte sonene

I våtsoner må man bare benytte materialer og konstruksjoner som tåler store fuktbelastninger. I de tørre sonene står man friere til å velge overflatematerialer.

## 6 ANBEFALTE LØSNINGER

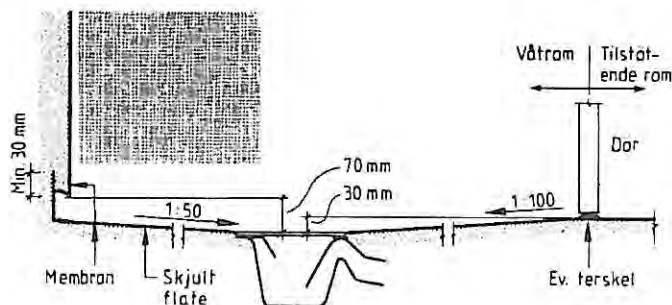
Mange løsninger kan være aktuelle. I det etterfølgende har jeg valgt å omtale materialer og løsninger som etter mine erfaringer er de mest vanlige.

Overflatemateriale i våtrom er vanligvis vinylbelegg eller keramiske fliser. I noen tilfeller er også utstøpte plastbelegg av typen akryl, epoksy eller polyuretan benyttet. De sistnevnte blir ikke omtalt her. Det må også understrekes at:

*Golv må alltid ha tettesjikt av et materiale som er klassifisert som membran.*

### Golv

For å sikre avrenning av vann fra dusj eller søling skal et golv konstrueres med fall mot sluk. Figur 3 viser de kravene Våtromsnormen stiller til fallet.



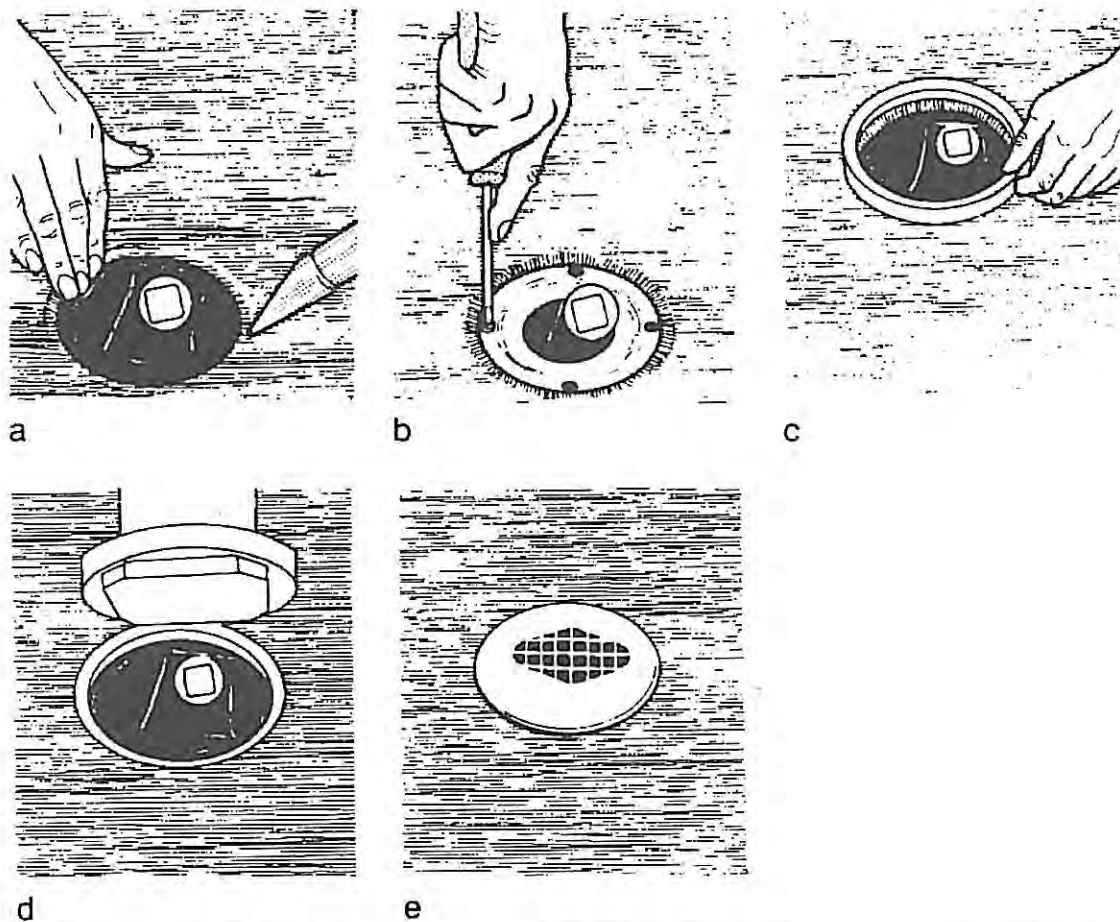
Figur 3 Krav til fall mot sluk



### Golv med vinylbelegg

Vinylbelegg (PVC) beregnet for våtrom egner seg på golv med platematerialer av spon eller kryssfinér på trebjelker eller tilfarere, og dessuten på påstøp og betonggolv. Vinylbelegget vil fungere både som membran og overflatemateriale. Pr. i dag er dette belegget godkjent etter NS 3860. Det skal imidlertid nevnes at produsenter for fremtiden vil få prøvd og godkjent sine materialer etter krav som er satt i Byggebransjens våtromsnorm (BVN). Slike godkjente materialer, i dette tilfellet et PVC-belegg, blir publisert i Fagrådets bedrifts- og produktlister som vil bli lagt ved BVN.

Legges våtromsvinylene av en godkjent fagmann, blir golvet i de aller fleste tilfeller vanntett. Utførelsen kan dessuten kontrolleres. Det vil si at man sjekker at alle fuger er skikkelig sveiset og uten svimerker. I tillegg kan man kontrollere tettheten til alle sveiseskjøter, overganger og hjørner ved hjelp av en vakuumpumpe. Tettheten på slukttilslutninger og gjennomføringer kan kontrolleres ved at sluket tettes og vann fylles på golvet. Figur 4 viser hvordan vanntett overgang mellom belegg og sluk etableres for to typer sluk.



Figur 4 En type klemring som festes med skruer er vist i b. og en som kun presser belegget mot sluket i c. og d.

- Belegget varmes og brettes ned i slukfalsen.
- Klemring av denne typen skrues på plass mens belegget er mykt etter oppvarmingen (bør ettertrekkes senere).
- Denne typen klemring settes på plass i sluket, deretter ..... (fig. d)
- ..... brukes fortrinnsvis en pressekluss for å få ringen helt ned mens belegget er mykt.
- Ferdig montert med slukristen

### *Keramiske fliser*

Keramiske fliser kan legges på de fleste stabile underlag. Da flisebelegg ikke er vanntett, må det alltid ligge en membran i konstruksjonen. For å danne den vanntette membranen før flisene, kan man f.eks. bruke en løstliggende banemembran som legges under en påstøp, eller et vinylbelegg som legges oppå undergolvet. På et trebjelkelag bør imidlertid senteravstanden mellom bjelkene da reduseres til 0,3 m for å få et stivere golv. En slik løsning på en lett golvkonstruksjon har alle muligheter for å bli vellykket. Man må imidlertid huske på å velge et fuktbestandig fliselim som passer til vinylbelegget.

Påstrykningsmembran kan brukes som membran i stedet for vinylbelegg.

Påstrykningsmembranen setter imidlertid svært store krav til utførelsen. Det er dessuten vanskelig å kontrollere om den er lagt ut i riktig tykkelse og om alle overganger og gjennomføringer er tilfredsstillende utført. På grunn av vansker med utførelse og kontroll kan påstrykningsmembraner derfor være en mer usikker løsning på golv enn banemembraner. Det skal imidlertid bemerkes at en del påstrykningsmembraner i dag leveres med en sikkerhetsduk som gjør det lettere å få til foreskrevet tykkelse. Tetthetsprøving av påstrykningsmembraner kan kun gjøres ved å tette sluket og fylle vann på golvet. Keramiske fliser kan limes til påstrykningsmembraner med en limtype som er tilpasset membranen.

I de senere år er det blitt reist spørsmål om det er heldig at ulike membranmaterialer – spesielt PVC – ligger i et fuktig alkalisk miljø, f.eks. under en påstøp. Pr. i dag er det ingen som har et fullgodt svar på dette. For sikkerhets skyld vil vi imidlertid anbefale at PVC- og påstrykningsmembraner legges oppå påstøpen. Da må imidlertid påstøpen (betongen) får tørke tilstrekkelig ut før belegget legges. Utørkingen vil ta noe tid, men er absolutt nødvendig for å få et tilfredsstillende resultat.

### **Vegger**

Det fins flere materialvarianter for vegg enn for golv. Av underlag kan nevnes kryssfinér, sponplater, trefiberplater, tregipsplater, gipsplater, kalsiumsilikatplater, sementfiberplater. Under platene kan det ligge rupanel. Videre har vi de tunge konstruksjonene av betong, tegl og lettbetong (f.eks. leca og siporex/ytong). Disse har som oftest et pussjikt.

Overflatematerialene er nesten like tallrike som underlagene. Vi har veggvinyl, våtromstapet, malingssystemer, keramiske fliser, baderomspanel m.m. Alle disse variantene og mulighet for kombinasjoner gjør at materialvalget blir relativt vanskelig. Bortsett fra keramiske fliser fins det oss bekjent i dag ingen norske standarder som dekker overflatematerialer for vegg. Her vil nok Våtromsnormen etter hvert komme med anbefalinger av produkter som tilfredsstillt krav normen setter for ulike bruksområder.

### *Veggvinyl og våtromstapet*

En sikker løsning er sveisbar veggvinyl. For tapet kan det i dag ikke gis andre råd enn å vurdere de våtromstapeter som tilbys. Man bør unngå tapeter med papirbaksid. De vil ha kort levetid i våtrom. Det samme gjelder tapeter med tynt plastsjikt. Slike tapeter vil i utgangspunktet være vanntette nok. Men som nevnt tidligere har vi registrert at de «slites» ved hyppig renhold, noe som er vanlig der badet er i intens bruk, f.eks. i småbarnsfamilier. Hyppig renhold har resultert i at plastsjiktet stedvis er blitt slitt bort, med lekkasje til følge. I våtrom bør man derfor velge våtromstapet som har et tykt sveisbart slitesjikt av PVC (vinyl).

Generelt skal alle vegger ved utførelsen være så tørre at membraner eller overflatematerialer ikke skades av fukt fra underlaget. Veggvinyl og våtromstapet uten bærer (dvs. uten glassfiberduk) kan legges på alle de aktuelle underlagsmaterialene. Slike belegg vil til en viss grad følge med underlaget dersom det krymper eller sveller ved fukt- og temperaturendringer. Veggvinyl og tapet med bærer av glassfibervev er såkalt dimensjonsstabile og har begrenset mulighet til å følge med i underlagets bevegelser. Dimensjonsstabile belegg må derfor ikke legges på underlag med store fuktbevegelser, f.eks. på spon-, trefiber-, eller tregipsplater. Av samme grunn er disse platetypene også mindre egnet som underlag for keramiske fliser.

### *Malingssystemer*

Malingssystemer for våtrom har vi liten erfaring med, men ut fra de skadene vi har sett (utett malingsjikt på vev, mikrobevekst osv.), er vi betenkt overfor å bruke maling i våtsoner på underlag av platematerialer. I Våtromsnormen sies det også at den generelle erfaringen er at malingssystemer ikke holder i våtsoner. Slike systemer må derfor ifølge BVN bare brukes på betong og puss i våtsoner, hvor de vil øke overflatens vanntetthet. Faren for feil med utførelsen med malingssystemer er den samme som for påstrykningsmembraner. Sjiktoppbyggingen er dessuten betydelig mindre.

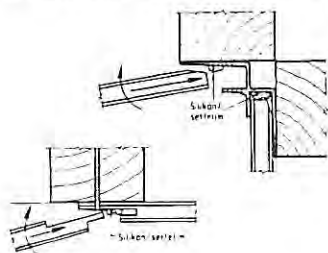
Vi vil imidlertid nevne at det er en arbeidsgruppe i gang med å framskaffe prøvemetoder og fastsette krav for malingssystemer. Dersom gruppen kommer frem til et akseptabelt forslag, kan det bli utarbeidet et blad i Våtromsnormen som angir krav og bruksområder for malingssystemer.

### *Baderomspanel*

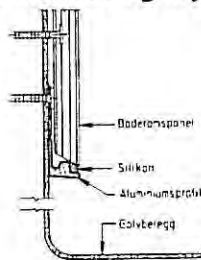
Erfaringene med baderomspanel er blandet. I en periode anbefalte vi at panel med trekjerne ikke burde brukes i sterkt vannpåkjennte områder da det har vist seg at forseglingen i underkant har vært mangelfull eller ikke påført. Dette resulterte i delaminering av platen og svelling av kjernen. Tilsvarende problem har også oppstått i snittflater når platene kappes.

Baderomspanel med pålagt vinylduk har også gitt problemer i våtsoner pga. vansker med å få vinylen lagt på panelets underkant og inn i not/fjær på en slik måte at man unngår hull m.m. hvor vann kan trenge inn.

I våtsoner anså vi derfor kun hellaminat panel som egnet. Denne løsningen er imidlertid kostbar. I de senere årene har derfor produsentene gått bort fra baderomspanel med vinylduk og framskaffet en sokkellist i kombinasjon med fugemasse som vist i figur 5 b. Så langt synes løsningen å ha redusert skadeomfanget. For de bruksområdene som er oppgitt under punkt 5, bør derfor også baderomspanel med høytrykkslaminat og kryssfinér være egnet.



*Figur 5 a*  
Montering av baderomspanel.  
Silikon benyttes som lim/fugemasse.



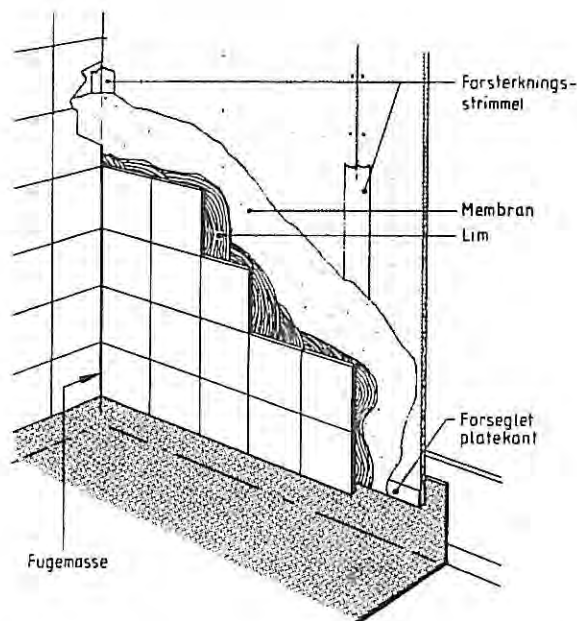
*Figur 5 b*  
Aluminiumprofil kombinert med silikon er en egnet avslutning mot sokkel.

### *Keramiske fliser*

Keramiske fliser er, som nevnt tidligere, ikke vanntette pga. fugene. Under fliskledning i våtsoner må det derfor alltid legges membran. Det er en klar fordel å legge membran under flisene på alle veggene.

Keramiske fliser kan legges på stabile underlag som gipsplater, kalsiumsilikatplater, sementfiberplater og pussede flater (husk membran i våtsoner). Platene må ha skikkelig understøttelse. Dette kan f.eks. oppnås med stendere i senteravstand 0,3 m, to lag plater eller rupanel under platene. Vegger av tegl, betong o.l. må ha gjort ferdig det meste av sitt svinn og være tilstrekkelig tørre til at membranen kan påføres uten fare for skader.

Til membran under keramiske fliser kan man bruke veggvinyl, våtromstapet (husk at fugene må være sveiset) eller påstrykningsmembran. Fliselimet som brukes, må være egnet for den aktuelle membrantypen.

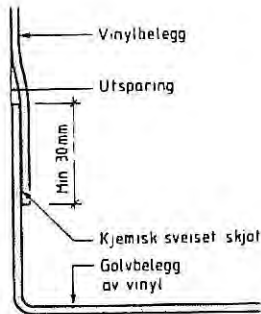
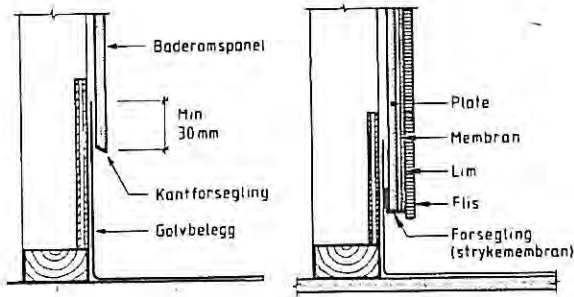


*Figur 6 Fliskledning på gipsplate. Fuktsikring under flisene er strykemembran. Fugemassen i hjørnene må ikke komme i kontakt med enkelte membraner pga. fare for misfarging. Bruk f.eks. tape imellom.*

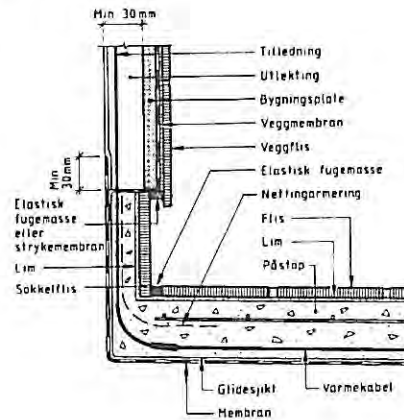
### **Overgang mellom golv og vegg**

Det fins en hel rekke muligheter for løsning av slike overganger. Løsningen for baderomspanel i figur 7 a er ikke god nok, bruk kantforseglingen som er vist i figur 5 b. Videre i figur 7 a og figur 7 b har vi vist to løsninger hvor veggmaterialet er keramisk flis. I figur 7 a har golvet vinylbelegg og i 7 b keramisk flis.



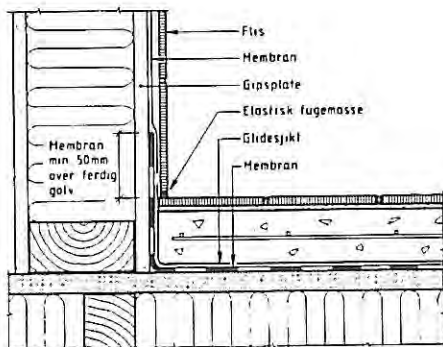


Figur 7 a  
Forskjellige løsninger på overganger mellom golv og vegg

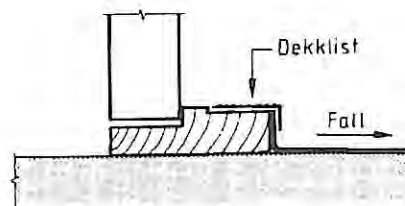


Figur 7 b  
Rettvinklet støpt sokkel tilpasset golvbelegg av keramiske fliser. Tilledningen til varmekabelen føres opp i sokkelen. Dermed unngår man å perforere membranen. Fugemasse og stryke-membran i kontakt kan misfarge fugemassen, og de bør skilles med bunnfyllingslist, tape e.l.

Figur 7 a og b viser en tilbaketrunket sokkel hvor veggkledningens avstand fra golvet vil variere pga. kravet til fall (se figur 3). I mange tilfeller kan avstanden bli så liten som 10–20 mm. Denne sokkeløsningen kan derfor bli en «skittsamler». En jevn overgang som i figur 8 vil derfor være å foretrekke. En vel egnet terskelløsning er vist i figur 9.



Figur 8  
Overgang mellom golv og vegg uten støpt sokkel

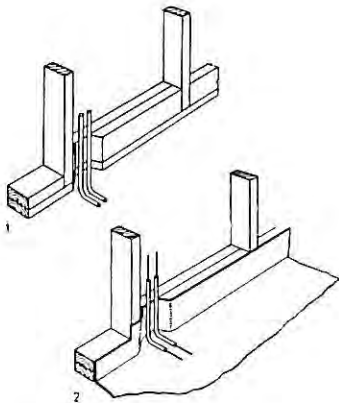


Figur 9  
Avslutning av membranen mot terskel hvor den trekkes opp på terskelen og beskyttes av en dekklist

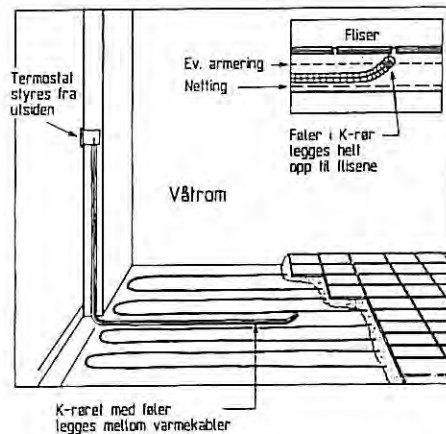


## Gjennomføringer

Nedenfor er det vist løsninger for ulike gjennomføringer m.m. i forbindelse med membraner for rør, sluk, gulvvarme m.m.

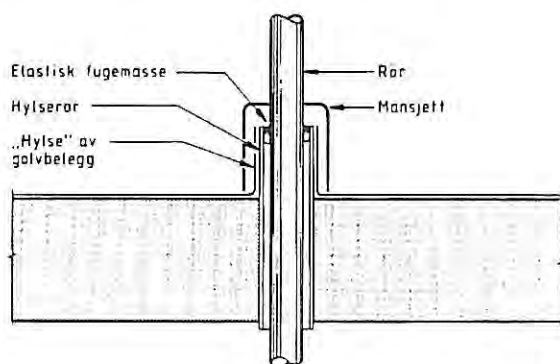


**Figur 10**  
Tilledning for varmekabel og ev. termostat føres i vegg enten membranen ligger over eller under anlegget. Innhakk i svillen gir plass for membranen slik at den ikke blir perforert for å få fram tilledningen. Anlegg under membran, se figurens skisse 1, over membran er vist i figurens skisse 2.

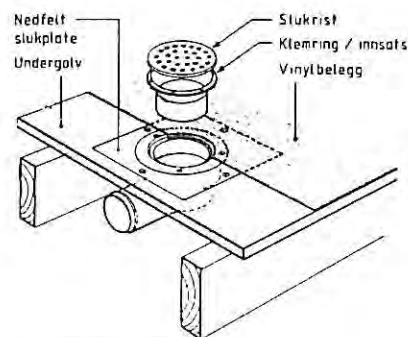


**Figur 11**  
Eksempel på plassering av termostat for enten rom- eller golvføler. Nedføring i golv hvor membranen ligger under påstøp, må gjøres som i figur 10, skisse 2.

For å få til en vanntett montering av membraner må det være tilstrekkelig plass mellom rør og vegg e.l., samt innbyrdes mellom rørene dersom to eller flere rør ligger nær hverandre. Minstekravet som BVN setter, er 40 mm fra vegg og 100 mm avstand mellom rørene.



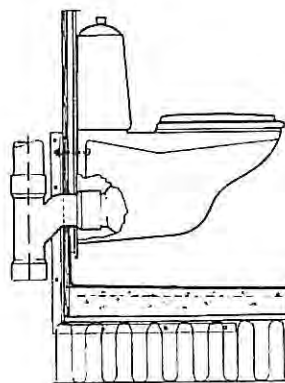
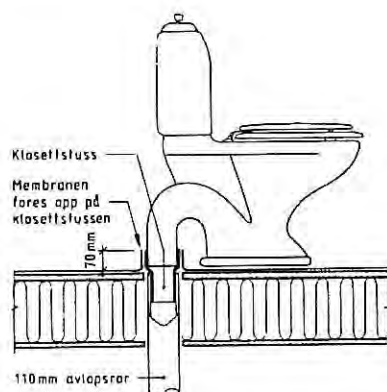
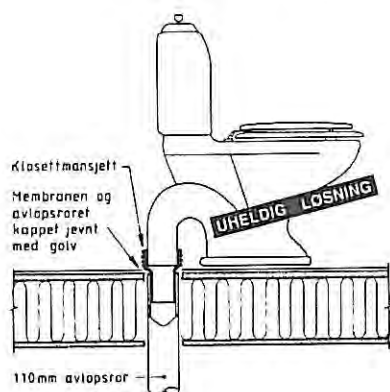
**Figur 12**  
Gjennomføringer med hylserør i golv



**Figur 13**  
Eksempel på sluk montert i slukplate. Golvplaten er montert for sluket ble satt på plass.

Håndverkere mener at 40 mm også er tilstrekkelig avstand mellom rørene. BVN har imidlertid valgt 100 mm for sikkerhets skyld. Sett fra et renholdssynspunkt bør også dette være mer tilfredsstillende.

Et annet eksempel på gjennomføring i golv er rørstussen fra klosettet. I figur 14 viser vi en uheldig og en riktig måte å gjøre dette på. Den «heldige» løsningen vil ikke gi vannrett golv. Beste løsning, også sett fra et renholdsmessig synspunkt, ville imidlertid være et veggmontert klosett som vist i figur 15.



*Figur 14*  
Ved klosettavløp må golvbelegget føres opp mot klosettstussen.

*Figur 15*  
Klosett hengt på vegg ved hjelp av en ståramme

## 7 HENVISNINGER

Byggebransjens våtromsnorm. Fagrådet for våtrom. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1994

Byggforskserien

- 527.204 Bad og andre våtrom
- 541.304 Legging av myke og halvharde golvbelegg
- 541.411 Keramiske fliser på golv
- 541.805 Golv i bade- og dusjrom
- 543.301 Keramiske fliser på vegg
- 543.505 Vegger i bade- og dusjrom
- 552.112 Elektrisk golvvarmeanlegg
- 700.110 Byggskader. Oversikt
- 700.312 Vedlikehold av småhus

# OMBYGGING OG ETTERISOLERING

Siv. ing. Trond Bøhlerengen

## 1 LOVER OG FORSKRIFTER

På en rekke områder vil eksisterende bygninger normalt ikke tilfredsstillende dagens regelverk, blant annet for varmeisolasjon, fukt, tetthet og ventilasjon. Utgangspunktet er plan- og bygningslovens kap. XV «Bestående byggverk», hvor det bl.a. heter følgende:

§ 87 Endring, reparasjon eller bruksendring m.v. av bestående byggverk:  
*«Tiltak på byggverk må ikke utføres, hvis det vil føre til at byggverket kommer i strid med bestemmelser gitt i eller i medhold av denne loven, eller fører til at byggverket kommer ytterligere i strid med de nevnte bestemmelser enn det allerede er.»*

Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997 er eksempel på slike bestemmelser. Forskriften setter krav til bl.a. varmeisolasjon, tetthet og sikkerhet mot fuktskader.

En hovedregel er altså at bygningen eller bygningskonstruksjonen ikke skal bli «verre enn før», dvs. den skal ikke ha dårligere varmeisolasjon, dårligere tetthet dårligere ventilasjon eller mindre sikkerhet mot fuktskader enn før utbedringsarbeidene ble igangsatt.

## 2 UTVENDIG/ INNVENDIG ETTERISOLERING ELLER INNBLÅSING

Hensikten med å etterisolere bestående bygninger er selvsagt å redusere varmetapet gjennom ytterkonstruksjonene. Bedret varmeisolasjon vil derfor gi lavere gjennomsnittstemperatur i den «kalde» delen av ytterkonstruksjonene, dvs. i den delen som ligger på utsiden av varmeisolasjonen. Lavere gjennomsnittstemperatur vil redusere uttørkingsmulighetene for ev. fukt i den «kalde» delen av ytterkonstruksjonen. Ved innblåsing eller innvendig etterisolering blir altså temperatur- og fuktforholdene i de ytre delene av den eksisterende konstruksjonen endret til det mer ugunstige slik at den blir mer sårbar for fuktskader. Ligger forholdene til rette for det, kan det derfor utvikles fuktskader i konstruksjoner som tilsynelatende har stått skadefri i mange år. Dette er forhold som man alltid må vurdere før etterisolering settes i gang.

Som hovedregel kan man si at utvendig etterisolering normalt er den bygningsfysisk sikreste måten å etterisolere på. Kuldebroer blir eliminert eller redusert, samtidig som man har god kontroll med fuktsikkerheten på den ytre siden av klimaskjermen. Den eksisterende delen av ytterkonstruksjonen blir liggende på den «varme» siden, slik at risikoen for fuktproblemer i skadeutsatte deler blir liten. Tiltaket vil heller ikke «stjele» areal fra innvendige rom, samtidig som arbeidene bare i liten grad vil være til sjenanse for beboerne.

### 3 TILSTANDSKONTROLL

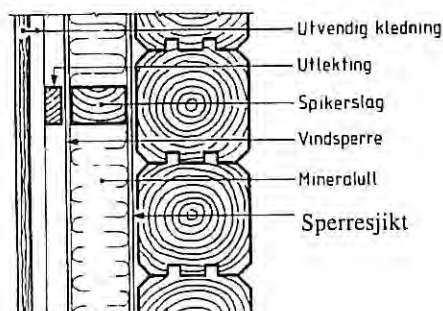
Før ombygging og etterisolering finner sted, bør det gjennomføres en tilstandskontroll av de eksisterende konstruksjonene. Tilstandskontroll innebærer bl.a. kartlegging av konstruksjonens tilstand (fuktforhold, skader, vedlikeholds- og utbedringsbehov m.v.), samt oppbygning av konstruksjonen (hulrom, sperresjikt, materialer etc.). Dersom *innblåsing* av isolasjon eller *innvendig etterisolering* er aktuelle alternativer, må man dessuten foreta en fuktteknisk vurdering av konstruksjonene, dvs. vurdere forventede fuktforhold før og etter at etterisolasjonstiltakene er gjennomført. Etterisolering innebærer normalt også at konstruksjonene blir mer lufttette en tidligere. Derfor må en også vurdere bygningens ventilasjonsbehov.

### 4 ETTERISOLERING AV TREVEGGER

#### Tømmervegger

For å hindre at kald luft trenger inn bak kledningen, bør eventuell gammel kledning fjernes før man etterisolerer. På laftevegg monteres først et sperresjikt med klemte skjøter, se figur 4.1. Ved isolasjonstykkelser større enn ca. 150 mm, må det brukes damspærre som sperresjikt mot lafteveggen. Ved tynnere isolasjonssjikt må det vurderes i hvert tilfelle hvorvidt man skal bruke damspærre eller sperresjikt av mer dampåpne materialer. Mineralullisolasjonen plasseres mellom spikerslag som monteres vertikalt eller horisontalt, avhengig av om man skal bruke liggende eller stående kledning. Utenpå isolasjonen monterer man vindspærre med klemte skjøter.

Dersom veggen har innvendig papp eller plastfolie og kledning, kan man legge mineralullen direkte mot tømmeret uten mellomliggende sperresjikt (ikke vist på figuren).



a.

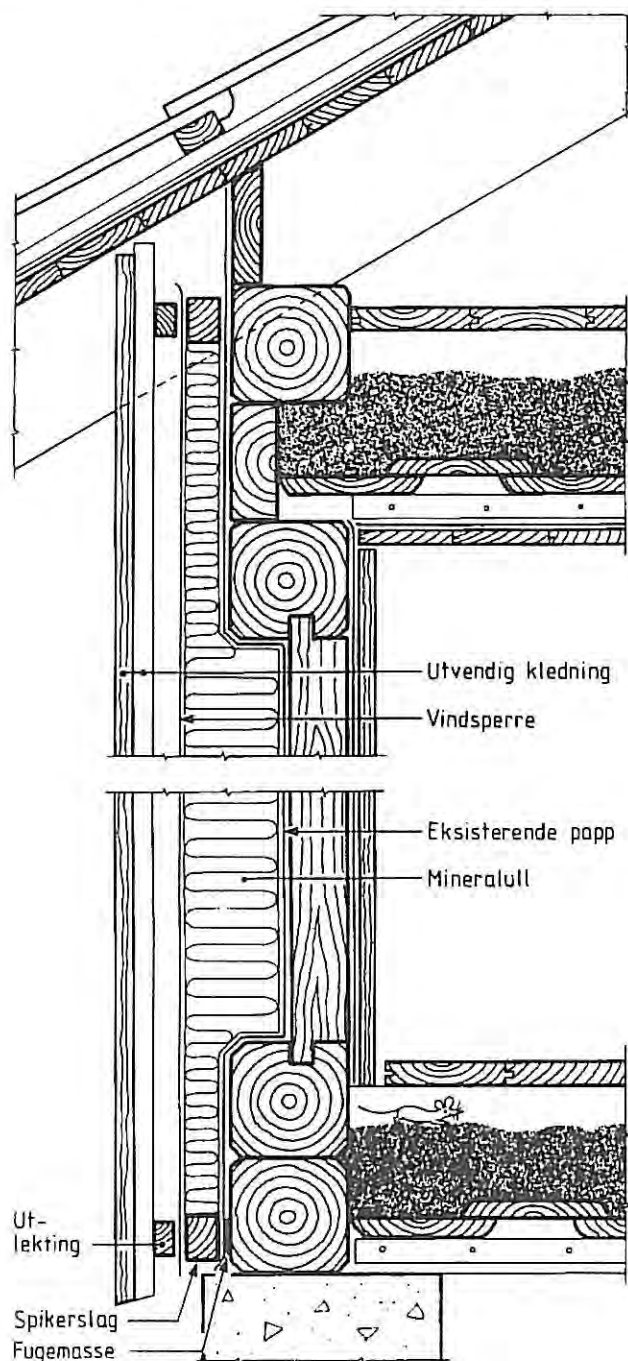
Figur 4.1 Utvendig isolert laftevegg, uten innvendig kledning. Ved isolasjonstykkelser  $\geq$  ca. 150 mm må sperresjiktet mot lafteveggen være damspærre. Ved mindre isolasjonstykkelser må det vurderes i hvert tilfelle om man skal bruke mer dampåpne sperresjikt.

#### Reisverksvegger

##### Utvendig etterisolering

På reisverksvegger er utvendig kledning vanligvis montert mot et hulrom på mellom 35 og 70 mm uten mellomliggende papp. For å hindre kaldluftinfiltrasjon bør man derfor fjerne kledningen før man etterisolerer. Spikerslag monteres horisontalt eller vertikalt, avhengig av

om det er stående eller liggende kledning. Mineralullen legges direkte mot den gamle pappen i veggen. Utenpå isolasjonen monterer man forhudningspapp med klemte skjøter eller vindtette plater, se *figur 4.2* Man må tette omhyggelig i topp og bunn av veggen.

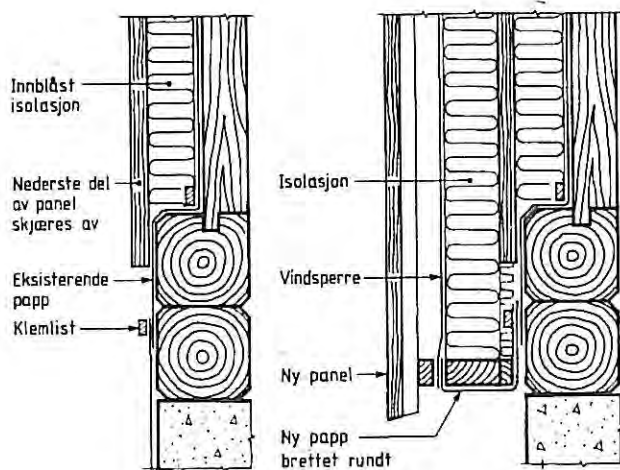


*Figur 4.2* Utvendig etterisolering av reisverksvegg

#### *Innblåsing*

Reisverksvegger som mangler papp bak panelet, bør ikke etterisolereres ved innblåsing, med mindre det lektes ut for ytterligere 50 – 75 mm isolasjon og ny luftet panel ytterst, se *figur 4.3*. Ulempen med denne metoden er at veggtykkelsen blir svært stor og gir tilpasningsproblemer rundt vinduene. Dette kan være uakseptabelt enten av hensyn til takutstikket eller husets arkitektoniske uttrykk.

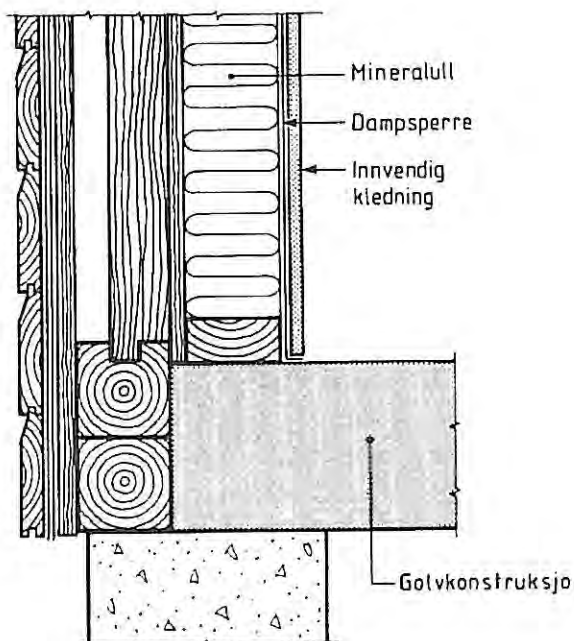




Figur 4.3 Alternativ etterisolering av reisverksvegg. Man blåser inn isolasjonsmateriale bak gammel panel. Deretter tilleggsisoleres veggen på tradisjonelt vis med 50 – 75 mm isolasjon.

#### Innvendig etterisolering

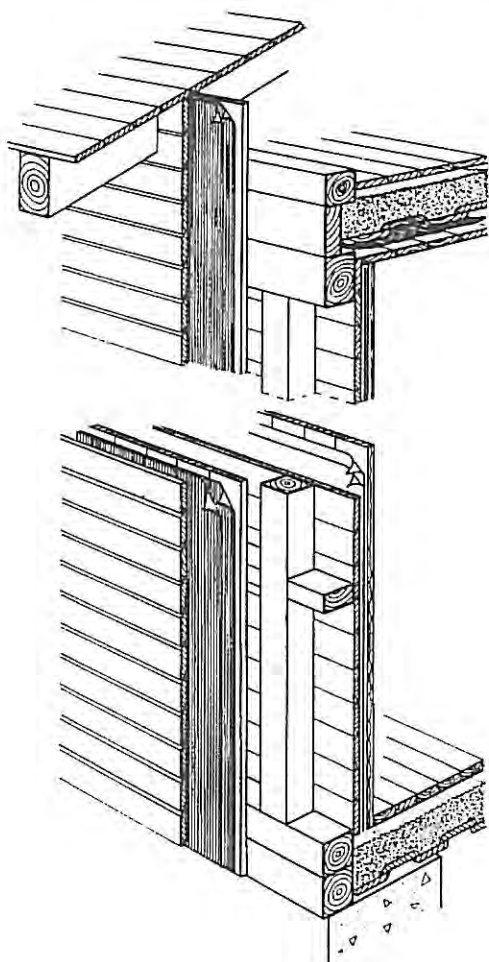
Ved innvendig etterisolering monteres mineralull mellom spikerslag, dampsperre og innvendig kledning slik figur 4.4 viser. Dersom utvendig kledning er montert uten utlekting, må faren for ev. fuktskader vurderes ut fra de lokale påkjenningene. Kombinasjonen av manglende utlekting og uheldige byggetekniske løsninger (utett panel, lekkasjer rundt vindusdetaljer m.m.) kan være nok til at fuktskader oppstår etter at veggen er isolert.



Figur 4.4 Innvendig etterisolering av reisverksvegg

### Eldre bindingsverksvegger

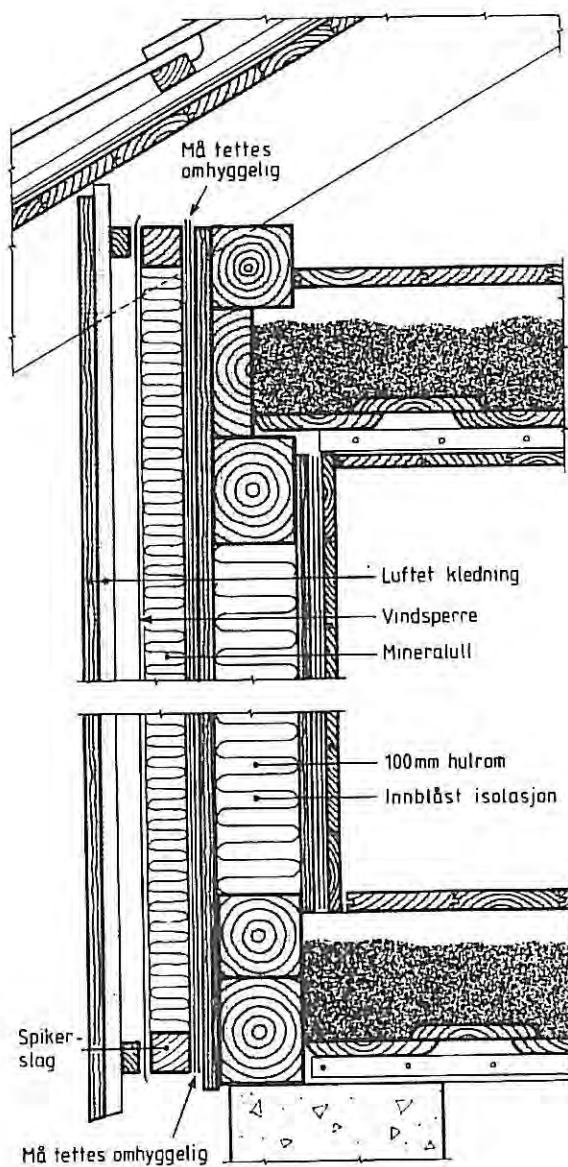
Før en går til det skritt å isolere eldre bindingsverk utvendig, bør en vurdere å blåse inn mineralull eller cellulosefiber. Yttervegger med bindingsverk er særlig godt egnet for innblåsing. Hulrommet i slike vegger er som regel ca. 100 mm. Det gjør innblåsing fordelaktig både når det gjelder økonomi og komfort, se *figur 4.5*. Panelet og pappen på hver side av hulrommet gir god lufttetting. Hvis den utvendige kledningen ikke er lektet ut, må en imidlertid vurdere faren for fuktskader ut fra de lokale værpåkjeningene. Kombinasjonen av manglende utlekting og uheldige byggetekniske løsninger (utett panel, lekkasjer rundt vindusdetaljer m.m.) kan være nok til at fuktskader oppstår etter at veggen er isolert.



*Figur 4.5 Vanlig bindingsverksvegg fra tidsrommet ca. 1910 – 1950. Veggen egner seg godt for innblåsing.*

### Utvendig etterisolering

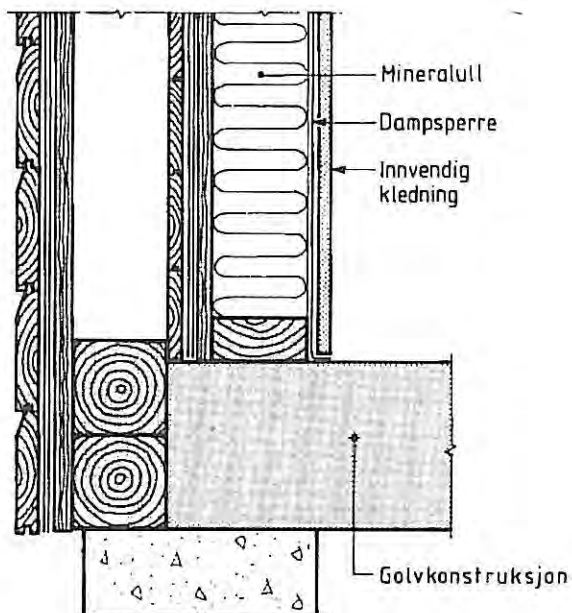
Ved utvendig etterisolering av eldre typer bindingsverk kan det av og til være en fordel å fjerne det ytterste laget med panel. Da får man et jevnere underlag, og man oppnår lettere bedre tetting i topp og bunn av veggen. Lekter kan monteres horisontalt (c/c 900 mm eller c/c 600 mm) eller vertikalt (c/c 600 mm), avhengig av om det er stående eller liggende kledning. På isolasjonen monteres det forhudningspapp med klemte skjøter eller vindtette plater. Man må sørge for at kald luft ikke kan trenge inn bak isolasjonen. Spesielt viktig er det derfor å tette mellom øverste og nederste spikerslag og gammel kledning, se *figur 4.6*. Hulrommet bør i tillegg etterisolerers ved å blåse inn isolasjonsmateriale.



Figur 4.6 Utvendig etterisolering av eldre bindingsverksvegg med hulrom. Hulrommet bør alltid tilleggisoleres ved innblåsing av isolasjonsmateriale.

#### Innvendig etterisolering

Figur 4.7 viser innvendig etterisolering av en eldre type bindingsverksvegg. Hulrommet kan i tillegg etterisoleres ved å blåse inn isolasjonsmateriale. Hvis den utvendige kledningen ikke er lektet ut, må en vurdere faren for fuktskader ut fra de lokale værpåkjenningene.



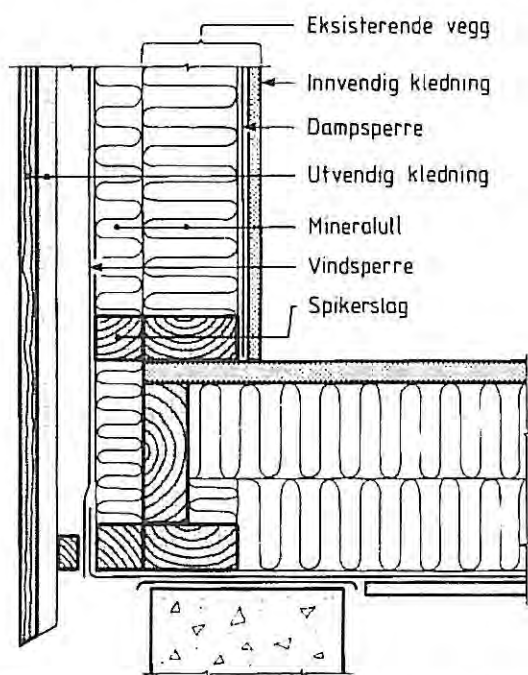
Figur 4.7 Innvendig etterisolering mot vegg av bindingsverk

### Nyere bindingsverksvegger

Nyere vegger er oftest noe isolert, f.eks. med 100 mm isolasjon. Innblåsing er derfor sjelden aktuelt.

### Utvendig etterisolering

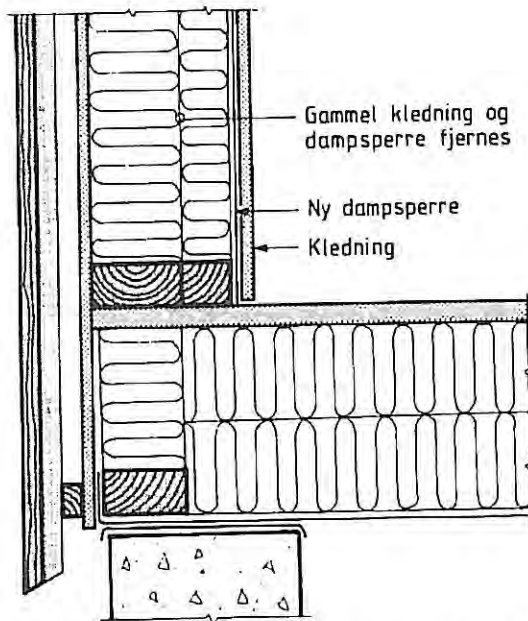
På slike vegger bør gammel kledning og eventuell utvendig papp fjernes før man fôrer ut med nye spikerlag for isolasjon, se figur 4.8. Ny vindtetning monteres omhyggelig.



Figur 4.8 Utvendig etterisolering av nyere type bindingsverksvegg

### Innvendig etterisolering

Dersom man skal etterisolere innvendig en nyere vegg med 100 mm mineralullisolasjon, må eksisterende kledning og dampsperre først fjernes, se *figur 4.9*



*Figur 4.9* Innvendig etterisolering mot vegg av isolert bindingsverk

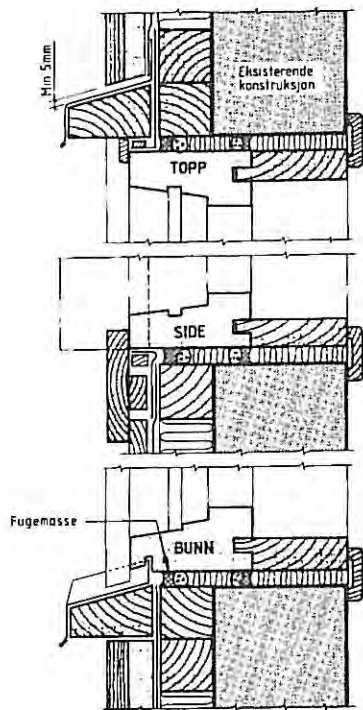
### Vindusdetaljer

#### Utvendig etterisolering

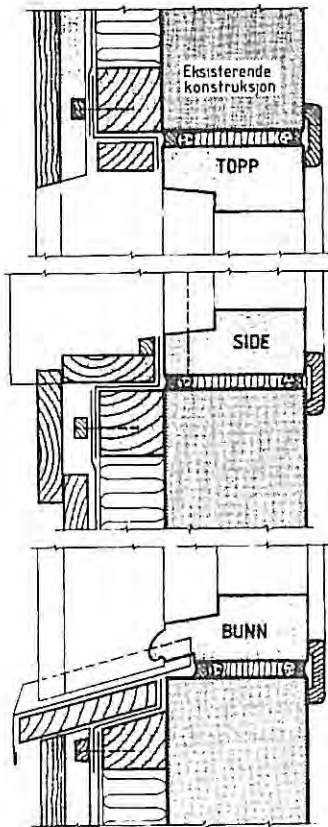
Feil i forbindelse med vindusinnsettingen er en av gjengangerne på skadestatistikkene. De typiske feilene er gal montering, manglende tetting av monteringsfugene, uheldige sålbenkløsninger og ev. manglende vannbord over vinduene.

En generell regel er at vinduene bør plasseres i samme forhold til utvendig kledning som tidligere ved utvendig etterisolering slik at vindusdetaljene opprettholdes. *Figur 10 a* viser prinsippet, mens *figur 10 b* viser en utførelse der man har valgt å la vinduene bli stående på samme plass som før isoleringsarbeidet tok til.





Figur 10 a Detalj av vindu som er flyttet ut i veggen



Figur 10 b Detalj rundt vindu som står på samme plass også etter utvendig etterisolering

## 5 ETTERISOLERING AV BETONG- OG MURVEGGER

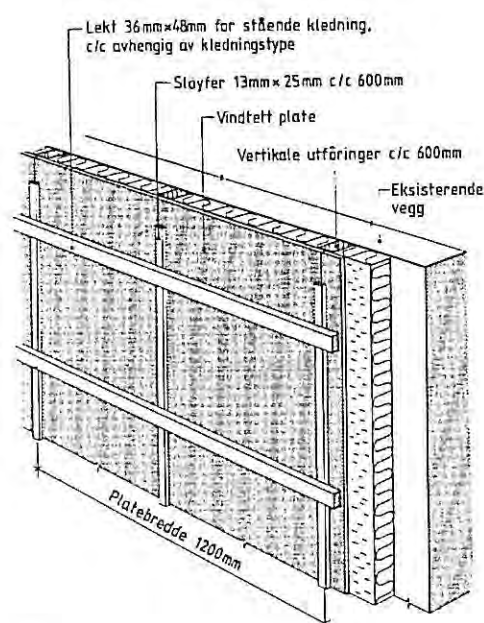
### Utvendig etterisolering

Arkitektoniske forhold, som f.eks. bygningens verneverdi, fasadens utforming og omliggende bygningsmiljø lager ofte en klar begrensning hvis man skal etterisolere utvendig. Men dersom det er mulig, bør man foretrekke utvendig tilleggisolering ettersom det gir mange tekniske og utførelsesmessige fordeler. Man unngår kuldebroer ved etasjeskillere og tilstøtende innervegger. Disse kuldebroene kan bety et varmetap som i verste fall kan være like stort som varmetapet fra hele veggen for øvrig. Dessuten medfører kuldebroene ubehagelig lave overflatetemperaturer på golvet nær ytterveggene. I tillegg til dårlig varmekomfort gir dette risiko for kondens og støvansamling. Hvis veggens utvendige tilstand er slik at det kreves reparasjoner og oppussing, og veggmaterialene ikke lenger motstår de aktuelle klimapåkjenningene (slagregn, frost), ligger forholdene spesielt godt til rette for utvendig etterisolering. Et annet positivt moment er at etterisoleringen kan utføres uten nevneverdig sjenanse for beboerne og uten tap av innvendig bruksareal.

### Isolert utføring med kledning

Utføringene festes til eksisterende vegg med ekspansjonsbolter av stål eller med ekspanderende pluggar av plast/nylon. I lettbetong bør man bruke spesialpluggar for dette materialet. Mellom utføringene isoleres det med mineralull. Mineralullen må fylle hele hulrommet mellom utføringene, og plasseres slik at den ikke buler ut, men ligger godt presset mot bakveggen.

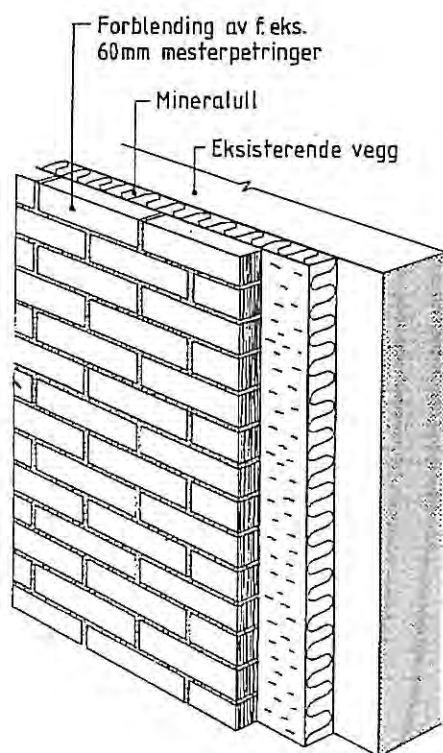
Vindtetning kan være plater eller bygningspapp. Plater krever utføring med senteravstand 600 mm. Alle skjøter mellom plater må ha understøttelse. Alle skjøtene i vindsperresjiktet må dessuten klemmes med kledningens lekter eller klemlister. Et eksempel på utførelse er vist i figur 5.1.



Figur 5.1 Eksempel på utvendig etterisolering med mineralull i utføringen. Vindsperre av plater, sloyfer, lekter og stående kledning

### *Teglforblandet mineralull*

Man murer opp en utvendig forblendingsvange av 1/4 steins (petring) eller 1/2 steins tykkelse og med mineralullisolasjon mellom den nye vangen og eksisterende vegg, se *figur 5.2*. Som opplegg for forblendingsvangen kan man støpe en smal betongbjelke mot eksisterende grunnmur med forankring til grunnmuren. Man kan også bolte fast oppleggsbjelke av stål (spesialbjelke fins), eller stålkonsoller kombinert med et spennarmert teglskift mellom konsollene. Forblendingsveggen må festes til eksisterende vegg, f.eks. med bindere som festes med mørtel i borede hull. Over vinduer kan det brukes spennarmerte teglskift eller annen lastoverføring. Større fasadeflater må deles opp med vertikale bevegesfuger som tettes med elastisk fugemasse.

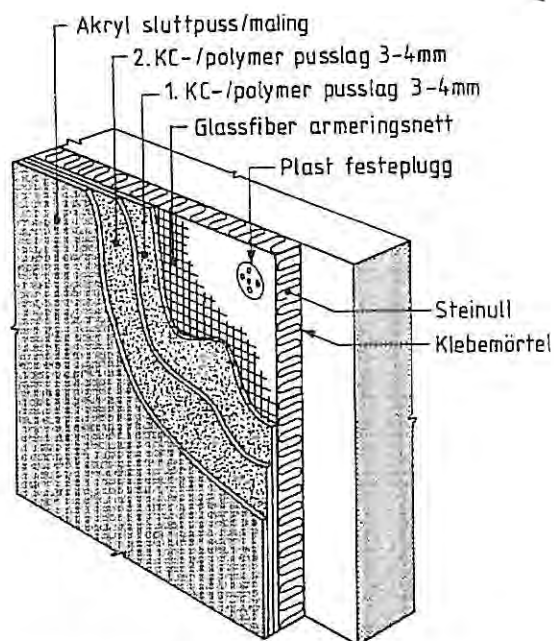


*Figur 5.2 Utvendig etterisolering med mineralull og teglforblending*

### *Etterisoleringssystemer med pusset overflate*

Det fins flere utvendige etterisoleringssystemer med pusset overflate på markedet. Systemene skiller seg fra hverandre både med hensyn til bære-/festesystem, pussmørtel, armering og isolasjonsmateriale.

Utvendig, pusset isolasjon bygger mindre i tykkelse enn andre metoder for en gitt isoleringsgrad. Hvis man bruker pusset polystyrén, kan også vindussmygene i mange tilfeller isoleres, fordi tykkelsen kan gå ned til 20 mm. Spesielt kan forholdene legges til rette for dette når vinduene skal skiftes samtidig med at bygningen etterisoleres. Et eksempel på etterisoleringssystem er vist på *figur 5.3*.



Figur 5.3 Utvendig etterisolering med plater av steinull og spesialpuss  
 Isolasjonsplatene festes til veggen med klebemörtel og plastplugg. Det bør normalt legges inn bevegelersfuger. Total pusstykkelse er ca. 10 mm. Varmeledningsevnen til steinull er  $0,036, W/mK$  og densiteten er  $140 kg/m^3$ .

### Innvendig etterisolering

Innvendig etterisolering kan brukes på bygninger der utvendig etterisolering er utelukket, eller hvis det er ønskelig bare å isolere enkelte vegger eller å gå skrittvis fram.

Man må være oppmerksom på ulemper som økte kuldebroproblemer og tap av innvendig bruksareal. Oppvarmingssystem med radiatorer, samt stigeledninger, gir store komplikasjoner. Hvis man isolerer innvendig, fører det også til at den opprinnelige veggen blir kaldere, med dårligere uttørkingmuligheter. Innvendig etterisolering av murvegger bør derfor aldri gjennomføres uten at fukt-/temperaturforhold i ytre veggdel er analysert og teglsteinens frostbestandighet er kartlagt.

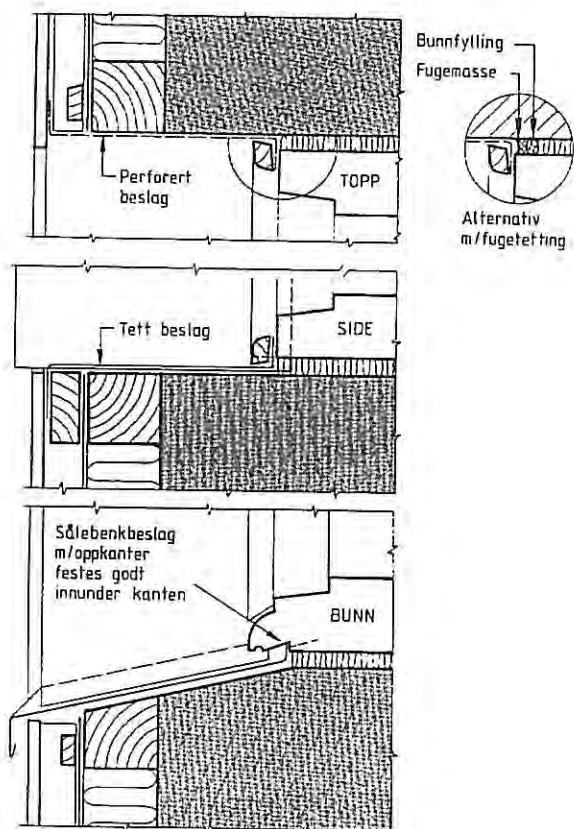
Er innvendig etterisolering likevel et aktuelt alternativ, må man gjennomføre en nøyaktig kartlegging av kritiske detaljer (alle innmurte bjelker/sperrer, innvendig murpanel, trekledning etc), ev. fjerne alt råteangrepet trevirke, foreta soppsanering m.v. Løsningen vil deretter være å bygge en selvberende, isolert (75 mm) platekledd lettvegg (gjærne med bindingsverk av tynnplateprofiler), trukket noe inn fra innvendig side av murveggen, fordi pappen kan angripes av mugg. Vindsperre er det ikke behov for. Det må også være en forutsetning at utvendige fasader er gjenstand for årlig ettersyn og godt vedlikehold for å hindre utvendige skader og inntrengning av vann/fukt.

## Vindusdetaljer

### Isolert utføring

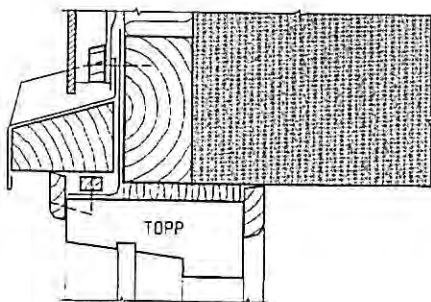
Som tidligere nevnt, er feil og mangler i forbindelse med vindusdetaljene svært vanlig. Slike detaljer må både planlegges og utføres nøyaktig.

Detaljer i forbindelse med et *eksisterende* vindu utføres som vist i *figur 5.4 a*. Her er det viktig med tetting rundt vinduene, samt mulighet for drenering av ev. vann som måtte komme inn bak kledningen (noe som alltid må forutsettes).

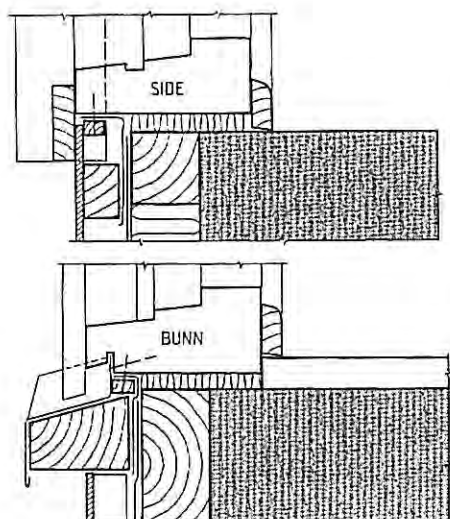


Figur 5.4 a Detaljer rundt eksisterende vindu

Nytt vindu kan monteres som vist i *figur 5.4 b*. Vann inn bak utvendig kledning tas ut via vannbord over vinduene. Sålbenkbeslag tres inn i spor under bunnkarmen, monteringsfugene sikres med to-trinns tetting (regnskjerm og vindtetting).



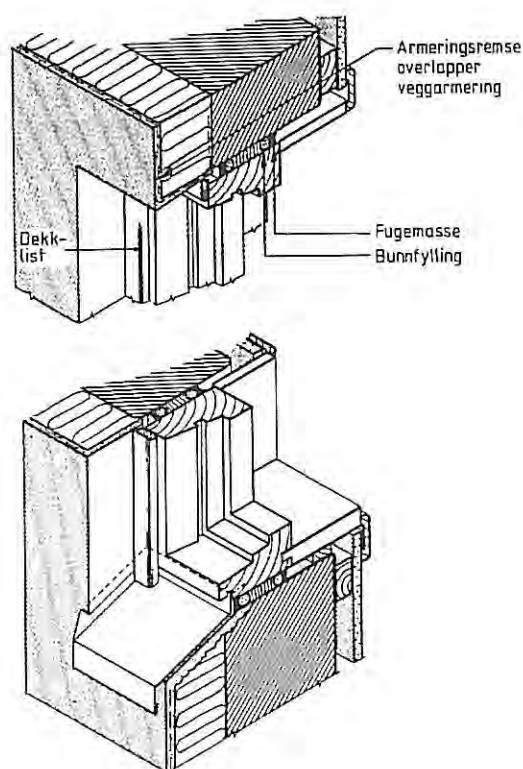




Figur 5.4 b Eksempel på vindusdetaljer rundt nytt vindu

#### Puss på isolasjon

Gode byggetekniske løsninger av detaljer rundt vinduer, ytterdører, balkonger etc. er viktig både for å sikre at pussjiktet får en viss bevegelingsfrihet og for å få en tilfredsstillende vind- og regntetning. Avslutningene mot dører og vinduer må også utformes for å tåle mekaniske påkjenninger ved støt eller for å ta opp spenningskonsentrasjoner pga. svinnkrefter. Eksempel på detaljløsning rundt nye vinduer er vist i figur 5.5.



Figur 5.5 Anbefalt beslagløsning med nye vinduer

## 6 ETTERISOLERING AV KJELLERROM

### Generelt

Kjelleren må være tørr. Hvis det er lekkasjer og fuktgjennomslag utenfra gjennom golv og vegger, må dette utbedres før man kan innrede boligrom. Om drenering og fuktsikring av bygninger, se Byggdetaljer 514.221. Innvendig isolering av grunnmurer mot terreng innebærer risiko for fuktskader, men er ofte det eneste reelle alternativet ved innredning av eksisterende kjellere, og slik isolering gjøres i meget stort omfang.

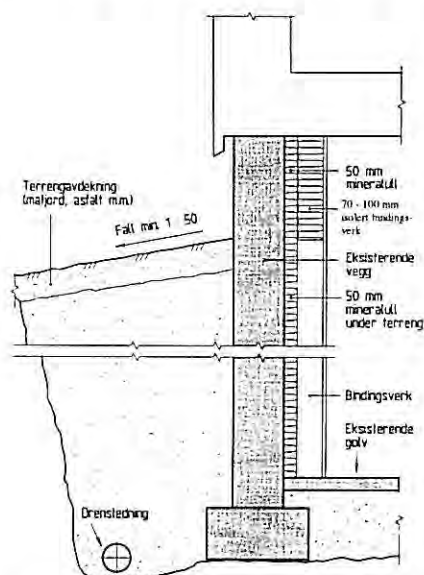
Lav luftfuktighet i rommene er viktig for å redusere faren for fuktskader. Tiltak for å oppnå dette er god ventilasjon og oppvarming. Rommene må ha frisklufttilførsel gjennom ventiler i ytterveggene eller spalteventiler i vinduene. Kjelleren må ha avtrekksventilasjon, f.eks. naturlig avtrekk via kanal over tak, eller mekanisk avtrekk med vifte via kanal over tak eller i yttervegg.

Ved innredning av oppholdsrom i kjeller bør man benytte muligheten til å isolere golv og vegger for å forbedre U-verdien. Det er imidlertid svært viktig at slike løsninger ikke øker faren for fuktskader.

### Kjellervegger

Den beste sikkerheten mot fuktskader oppnår man når varmeisolasjonen er plassert på *utvendig* side av yttervegg mot terreng. Ved innredning av oppholdsrom er det gunstig med alle tiltak som er en tilnærming til dette prinsippet. Hvis man f.eks. må grave opp rundt huset for å legge ny drenering, anbefaler vi at grunnmuren kles med grunnmursplater av plast, og at den også isoleres utvendig, i hvert fall under terrengnivå. Minst 1/3 av samlet isolasjon bør da settes utvendig.

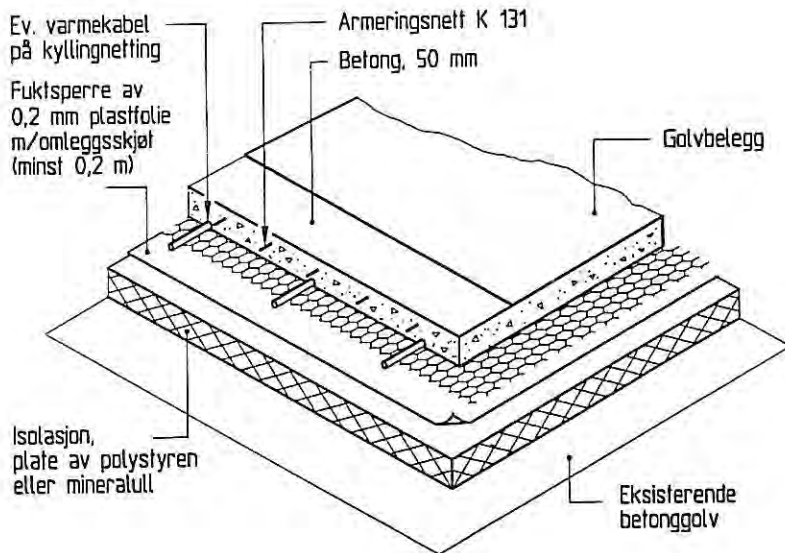
Isolert utføring på innvendig side er den enkleste og billigste løsningen ved innredning av rom. Men løsningen innebærer risiko for høy fuktighet, ev. kondens på eksisterende vegg bak utføringen. Fukt i utføringen kan gi muggangrep på fuktfølsomme materialer. Risikoen øker med økende isolasjonstykkelse. Under terrengnivå bør tykkelsen på innvendig isolasjon derfor begrenses til ca. 50 mm på betongvegg, og 100 mm på vegg av lettklinker. Over terreng kan man ha tykkere isolasjon. Se *figur 6.1*. Hvis mer enn ca. halvparten av vegg høyden ligger under terreng, skal det ikke benyttes damsperre.



Figur 6.1 Isolert utføring på innvendig side

## Golv

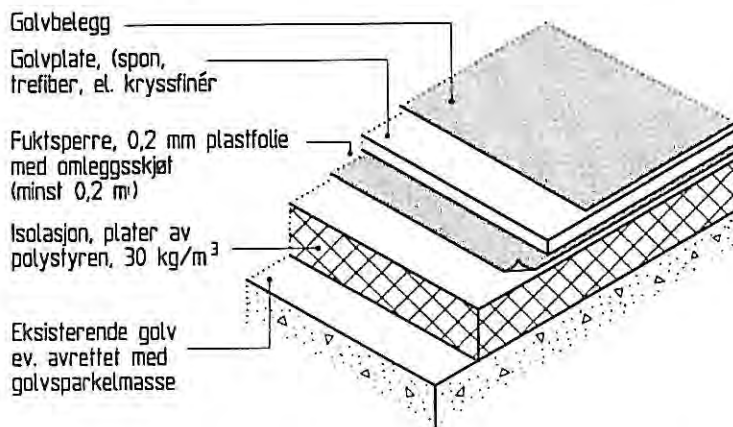
Er utgangspunktet et uisolert betonggulv uten fuktsperre, vil den sikreste løsningen være et nytt betonggulv med fuktsperre og varmeisolasjon, se *figur 6.2*. Denne konstruksjonen gir god beskyttelse mot fukttransport fra grunnen, og avstanden fra overkant golv og ned til eksisterende dreinsnivå (drensledningen) blir større enn før hvis det nye gulvet legges oppå det gamle.



*Figur 6.2* Betonggulv med fuktsperre og varmeisolasjon

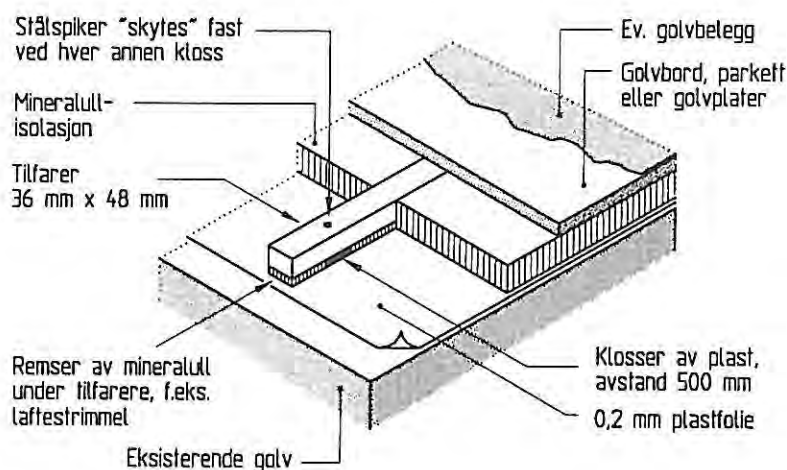
Hvis det nye gulvet skal erstatte det gamle og legges dypere, må avstanden ned til dreneringen minst være 200 mm. Lett, flytende golv lagt oppå det gamle kan også være et bra alternativ, se *figur 6.3*.

Dersom man av hensyn til romhøyden eller av andre grunner ikke kan bygge opp golv med tilstrekkelig tykkelse, kan det også legges flytende golv på fuktsperre, ev. belegg direkte på eksisterende golv. Slike belegg må være dampåpne. Fliser på golv uten golvvarme gir dårlig varmekomfort.



*Figur 6.3* Flytende golv på fuktsperre og varmeisolasjon

For tilfarergolv anbefaler vi noe isolasjon under tilfarerne, se eksempel på oppbygning i *figur 6.4*.



*Figur 6.4 Tilfarergolv med fuktsperre og varmeisolasjon*

## 7 ETTERISOLERING AV ETASJESKILLERE OVER KJELLERE/KRYPEROM

### Konsekvenser av etterisolering

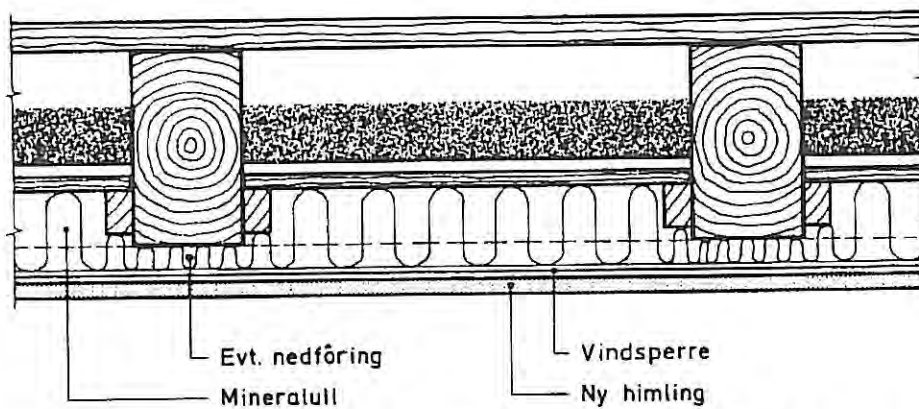
Når etasjeskilleren etterisoleres, blir temperaturen i kjeller/kryperom lavere store deler av året. Det *kan* føre til at den relative luftfuktigheten stiger over faregrensen for soppangrep. Derfor må man alltid vurdere om det i forbindelse med etterisolering er nødvendig å sette i gang tiltak for å senke den absolutte luftfuktigheten i kjeller/kryperom.

Dersom kjellerveggene er dårlig varmeisolert, kan etterisolering av etasjeskilleren gjøre kjelleren og fundamentene mindre frostsikker.

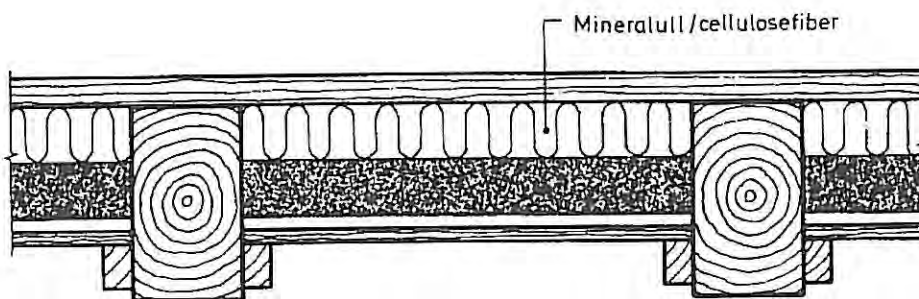
### Etterisolering av tregolv

Isolasjonen kan plasseres over, under eller i etasjeskilleren. Forholdene på stedet og type etasjeskiller avgjør plasseringen. Konstruksjonen krever ingen dampsperre, men derimot et effektivt vindspærresjikt mot kjeller- eller kryperommet. Det er også viktig at ev. lekkasjepunkter i forbindelse med bjelkeender/overgang mot grunnmur/sokkel tettes.

På eldre konstruksjoner er ofte utgangspunktet et trebjelkelag med stubbeloftsfyll. Isolasjon på undersiden av, eller i bjelkelaget er ofte mest nærliggende. *Figur 7.1* og *figur 7.2* viser eksempler.

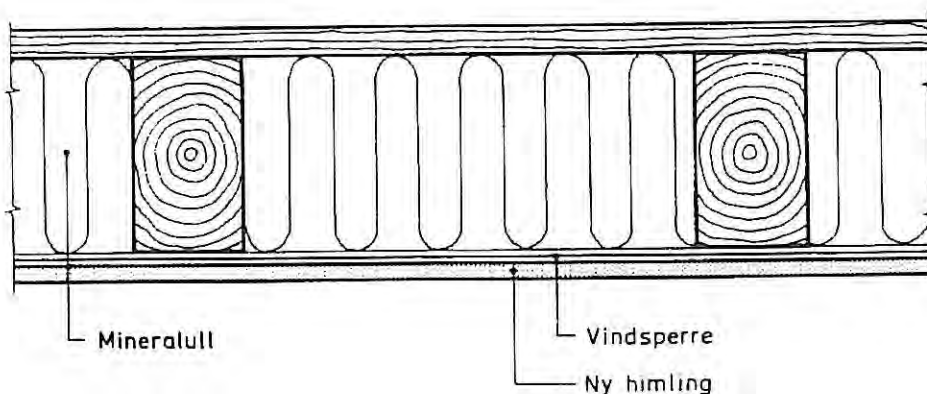


Figur 7.1 Ettersiderisoleringskryssnitt med nedfôret himling. Eventuelle utettheter i overgangen etasjeskiller/yttervegg slik at kald luft kan trenge inn over stubbeloftsfyllen, må tettes om en skal unngå golvtrekk. Er ytterveggen både utett og dårlig varmeisolerert, bør en i tillegg isolere hulrommet over stubbeloftsfyllen i et felt nærmest ytterveggene. U-verdi med 50 mm mineralull: ca.  $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , U-verdi med 100 mm mineralull: ca.  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .



Figur 7.2 Bjelkelag med innblåst isolasjon mellom stubbeloftsfyll og golvbord  
 U-verdi med 50 mm mineralull/cellulosefibrer: ca.  $0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
 U-verdi med 100 mm mineralull/cellulosefibrer: ca.  $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Hvis man ikke har tilstrekkelig plass til ny isolasjon verken på over- eller undersiden, må det gamle stubbeloftet fjernes og erstattes med mineralull, se figur 7.3.



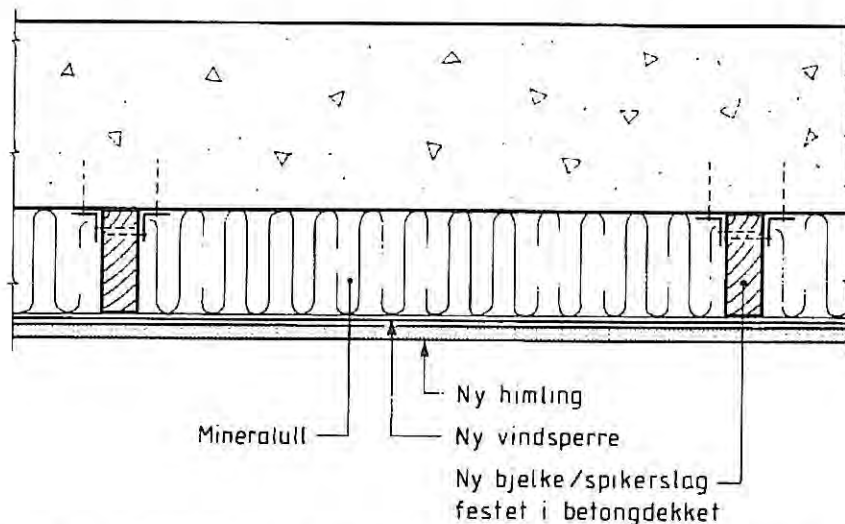
Figur 7.3 Mineralull montert nedenfra etter at stubbeloftet er fjernet  
 U-verdi med 150 mm mineralull: ca.  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



### Etterisolering av betonggolv

Betonggolv uten varmeisolering har en U-verdi på ca. 4,00 W/(m<sup>2</sup>K). Tilleggisolering med 100 mm isolasjon gir ny U-verdi på ca. 0,4 W/(m<sup>2</sup>K).

Golvet kan isoleres både fra over- og undersiden, avhengig av forholdene. Ved å isolere på oversiden eliminerer man samtidig eventuell kuldebrovirkning i overgangen mellom golv og yttervegg. *Figur 7.4* viser eksempel på oppbygning ved isolasjon på undersiden.



*Figur 7.4 Etterisolering av etasjeskiller fra undersiden. U-verdi med 100 mm mineralull: ca. 0,37 W/(m<sup>2</sup>K). U-verdi med 150 mm mineralull: ca. 0,27 W/(m<sup>2</sup>K)*

Ved isolasjon på oversiden er flytende golv den absolutt sikreste metoden, se punkt 6.

Tilfarergolv kan være et aktuelt alternativ. Tilfarere av tre bør klosses opp slik at de ikke kommer i kontakt med betongen. På etasjeskillere frarådes bruk av dampsperre (i motsetning til golv på grunnen). Løsningen blir som vist på *figur 6.4* (men uten dampsperre).

## 8 ETTERISOLERING AV LOFTSBJELKELAG OG TAK AV TRE

### Generelt

Luftede trectak bygges vanligvis opp på følgende måte, regnet innenfra og utover (*figur 8.1*):

- innvendig kledning (himling)
- luft- og damptett sjikt (dampsperre)
- varmeisolasjon
- vindtett sjikt (dampåpen vindsperre)
- lufting
- undertak og taktekning

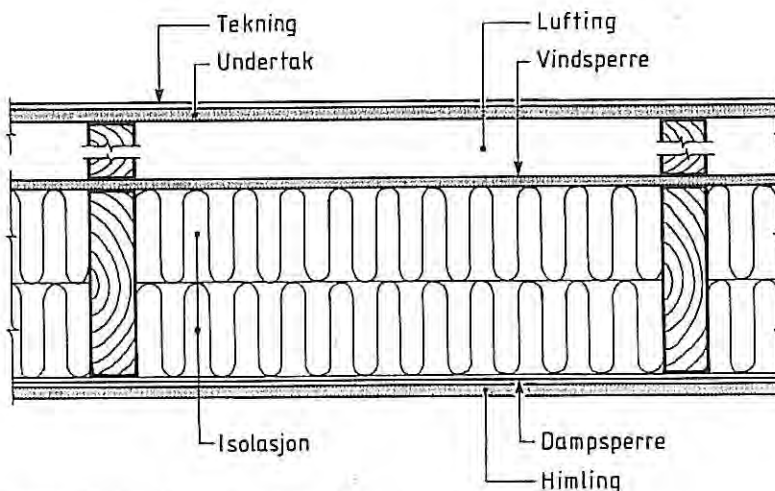
Konstruksjonene varierer, og derfor må etterisoleringen tilpasses det aktuelle takets konstruksjon og samordnes med andre arbeider som det samtidig er nødvendig eller ønskelig å utføre.

De vanligste isoleringstilfellene kan oppsummeres i tre hovedgrupper:

- isolering av loftsbjelkelag
- isolering av sperretak med himling
- isolering av åstak med himling

Ved vurdering av isolasjonstykkelse og isoleringsmåte man bl.a. ta hensyn til klima, konstruksjon, arkitektonisk utforming, behov for utskifting av innvendig himling, bygningens verneverdi og omliggende bygningsmiljø.

Ved isolering av loftsbjelkelag må man være klar over at temperaturen på loftet vil synke. Dette innebærer at romluften på loftet vil få høyere RF, og risikoen for kondensdannelser øker. Man må derfor passe nøye på å tette for luftlekkasjer opp til loftet, samtidig som man må sikre at loftet får tilstrekkelig med lufting.



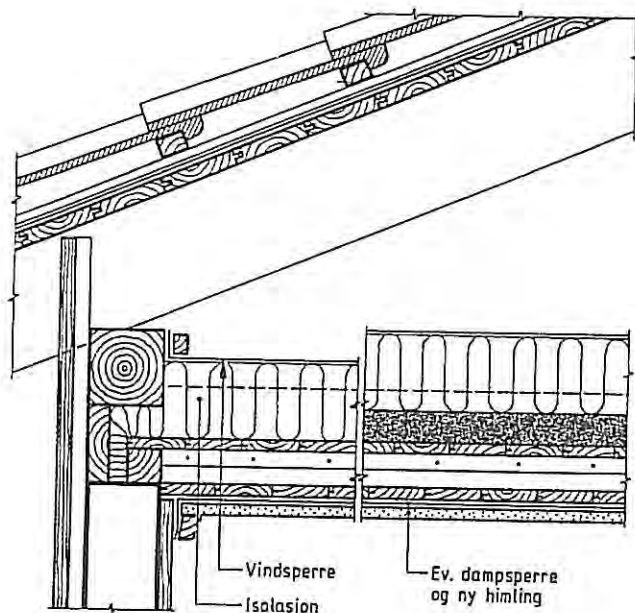
Figur 8.1 Luftet tretak. Prinsippskisse

#### Loftsbjelkelag med stubbeloftsfyll

Ved isolering fra oversiden kan man unngå forandringer av himlingen på romsiden. Det gir også et kontinuerlig isolasjonssjikt i hele takets bredde.

En må unngå å forringe luftingen av loftsrommet eller takkonstruksjonen, og sikre at luftlekkasjer ikke skjer fra romsiden og inn i isolasjonen, ev. opp på det kalde loftet.

Stubbeloftsfyllen kan enten fjernes og erstattes med isolasjon som tilpasses bjelkeavstanden, eller isolasjonen kan plasseres over stubbeloftsfyllen. I hvert enkelt tilfelle må man vurdere om himlingen er tilstrekkelig luft- og damptett til å hindre kondens høyere opp i konstruksjonen. Spesielt må det tettes rundt gjennomføringer for kanaler og rør og rundt eventuell loftsluke. Se figur 8.2.

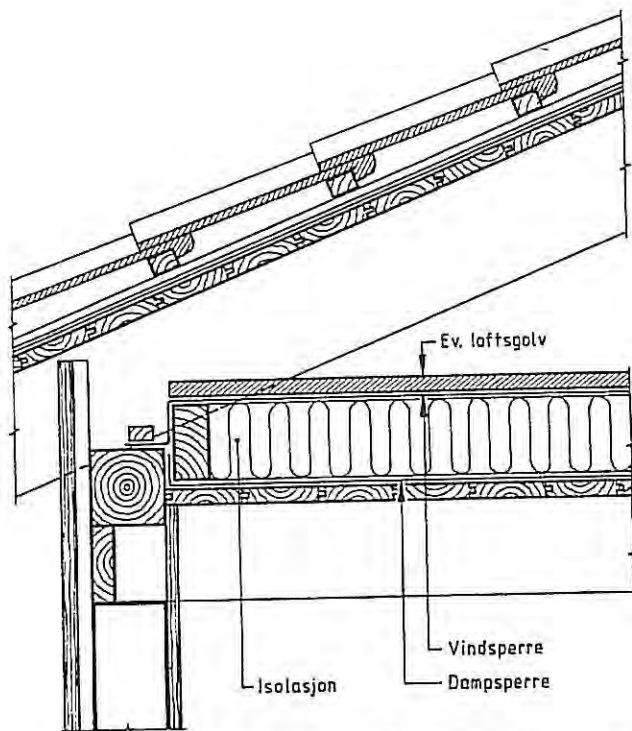


Figur 8.2 Bjelkelag med stubbeloftsfyll, isolert fra oversiden. Er himlingen utett, må det monteres diffusjonssperre og ny himling.

Dersom det er tvil om himlingens tetthet, monteres diffusjonssperre og ny kledning i himlingen. Hvis ny himling likevel skal monteres, kan isolasjonen plasseres mellom spikerslag med c/c 600 mm. Deretter monteres ny dampspærre og himling.

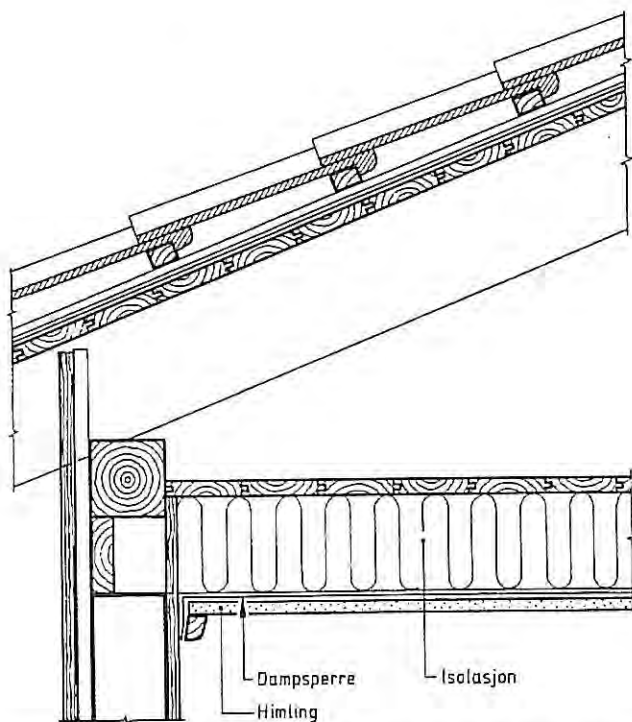
#### *Loftsbjelkelag uten stubbeloftsfyll*

Der en ønsker å beholde bjelkene synlige på romsiden, kan bjelkelaget isoleres på oversiden. Det monteres da først en diffusjonssperre i hele takets bredde. Sperren klemmes i skjøtene og mot ytterveggene. Isolasjon plasseres mellom spikerslag, som monteres med c/c 600 mm, dersom en ønsker loftsgolv. Skal loftet ikke benyttes, kan isolasjonen ligge løs. Over isolasjonen monteres forhudningspapp (veggpapp) og eventuelt golvbord eller undergolv av plater. Se figur 8.3.



Figur 8.3 Bjelkelag uten stubbeloftsfyll, isolert på oversiden

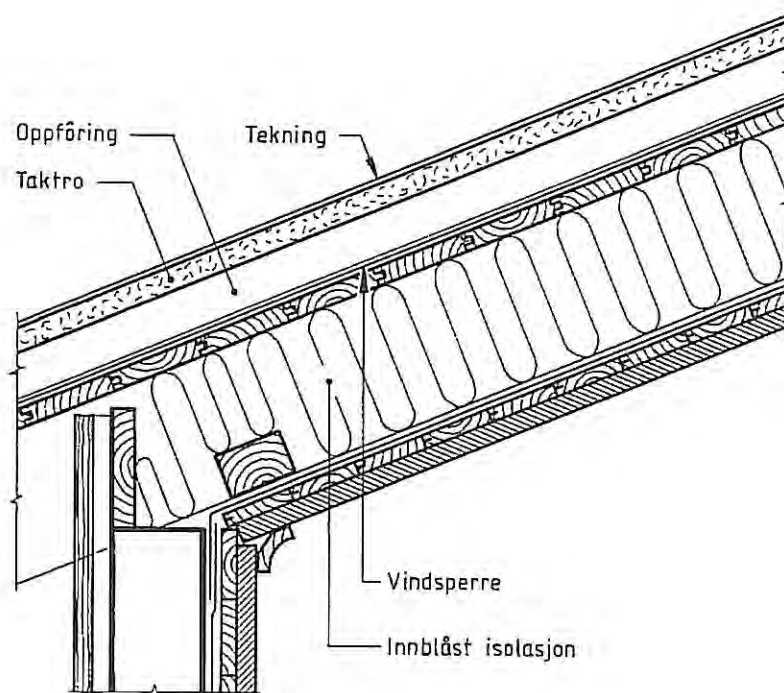
Fra undersiden kan bjelkelaget isoleres ved at isolasjonsplater/-matter monteres mellom bjelkene i hele bjelkehøyden. Plater eller matter skjæres til så de får en bredde som er ca. 20 mm større enn avstanden mellom bjelkene. Dersom avstanden ikke er for stor, vil mineralullen «stå av seg selv» i fakkene. Se figur 8.4.



Figur 8.4 Bjelkelag uten stubbeloftsfyll, isolert fra undersiden

### Tak med skrå himling

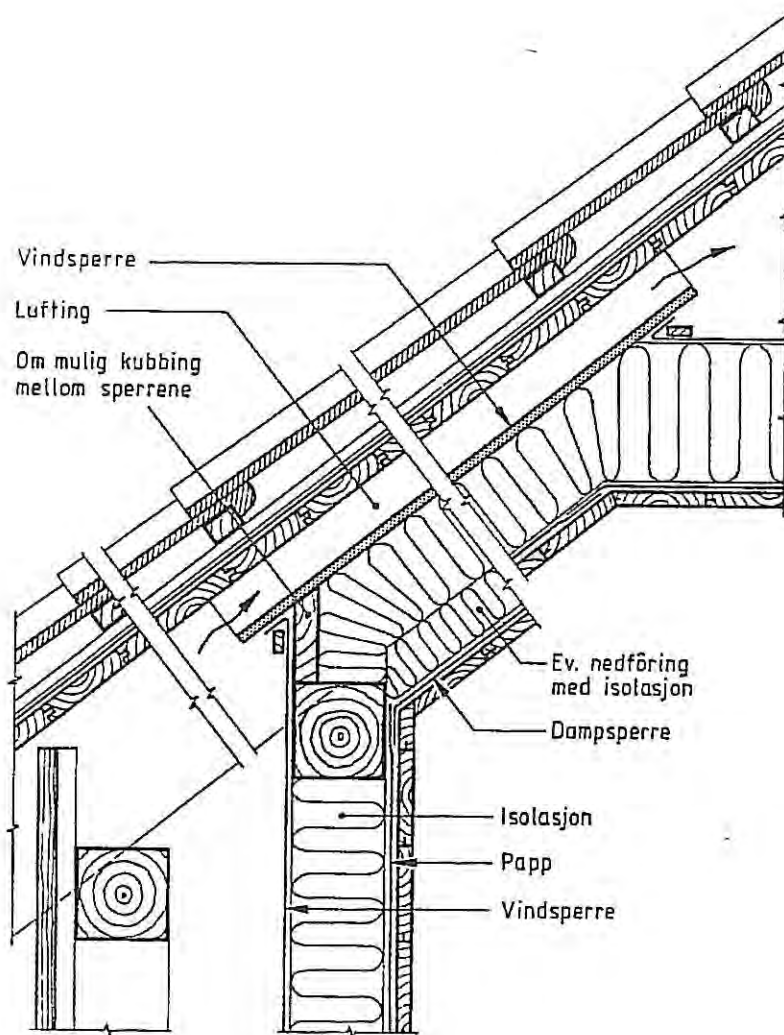
Uisolerte sperretak er gunstige etterisolasjonsobjekter. Isolasjonen kan fylles i sin helhet mellom sperrene, enten ved innblåsing, eller ved isolering fra over- eller undersiden. Man må samtidig sikre at taket får korrekt oppbygging, med et dampåpent vindsperresjikt på utsiden av isolasjonen. Ved innblåsing eller isolering fra undersiden innebærer dette at den gamle asfaltbaserte underlagspappen må fjernes (den er damptett) og erstattes av et dampåpent vindsperremateriale. Se figur 8.5.



Figur 8.5 Tak med skrå himling og innblåst isolasjon

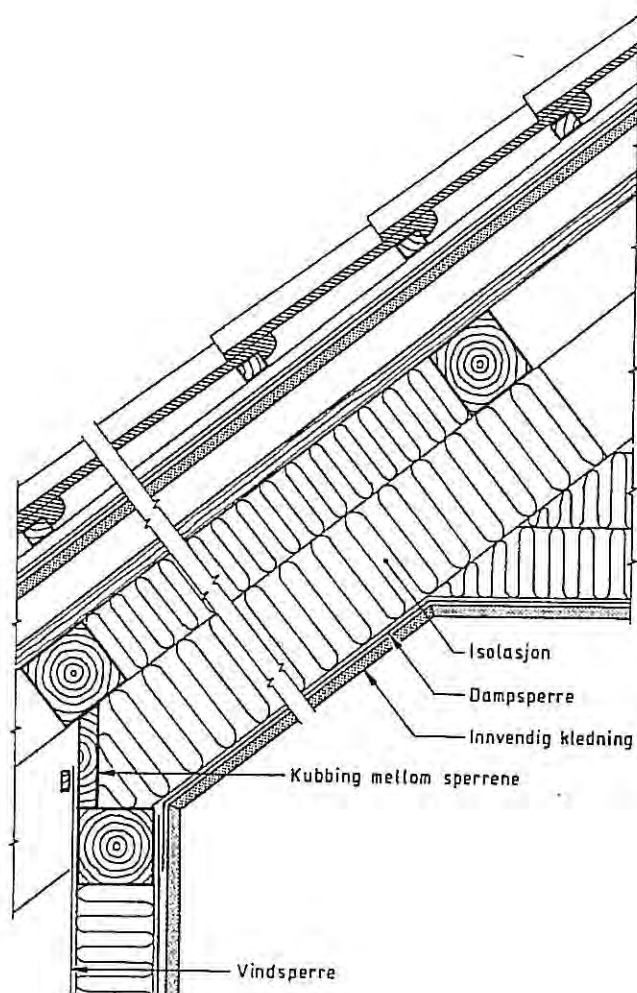
Ved isolering av taket mellom knevegg og horisontal himling er det viktig å sørge for gjennomlufting over isolasjonen, under taktroen. Lufteanordningen bør kombineres med vindsperre over isolasjonen. Det kan være vanskelig å plassere isolasjonen. Den kan tres inn ovenfra eller nedenfra. Man kan også lage en lufteanordning/vindsperre som vist i figur 8.6. Det kan bli nødvendig å ta ned innvendig kledning for å komme til. I så fall bør det monteres diffusjonssperre før ny kledning monteres. Det gir også god anledning til å øke isolasjonstykkelsen nedover. Se figur 8.6.





Figur 8.6 Isolering av loftsrom med knevegg

Kombinasjon av sperrer og åser gir naturlig plass for tykkere isolasjonslag enn andre taktyper. De beste løsningene er de hvor en velger å legge himlingen under sperrene, fordi en da lettere oppnår en tett diffusjonssperre inn mot varmt rom. Noen velger løsninger hvor de eksisterende taksperrene er synlige innenfra. Da er det særdeles viktig å sikre tette tilslutninger mellom plastfolien og taksperrene. Et eksempel på løsning er vist i figur 8.7.



Figur 8.7 Isolering av loftsrom i hus med åstak

## 9 LITTERATUR

### Byggedetaljer:

- 514.221 Fuktsikring av bygninger
- 552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov
- 552.302 Naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon i småhus

### Byggforvaltning:

- 722.506 Etterisolering av etasjeskillere over kjeller og kryperom
- 723.511 Etterisolering av trevegger
- 723.312 Etterisolering av betong- og murvegger
- 725.026 Ombygging av tak i nye loftsleiligheter i gamle bygårder
- 525.403 Etterisolering av tretak
- 727.113 Innredning av oppholdsrom i eksisterende kjeller

Rehabilitering av gamle bygårder. Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 181. Oslo, 1995

# RAPPORTER OG ARTIKLER FRA FUKTPROGRAMMET

## Internasjonale publikasjoner, konferanser:

Geving, S. 1996. Choice of representative weather data for moisture design calculations. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9-10, Espoo, Finland, pp 125 – 132.

Geving, S. and J.V. Thue. 1996. Measurements and computer simulations of the hygrothermal performance of lightweight roofs. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9-10, Espoo, Finland, pp 541 – 548.

Geving, S. 1997. A systematic method for hygrothermal analysis of building constructions using computer models. *The Fifth International Conference of Building Simulation (IBPSA)*, September 8 – 10, Prague, Czech Republic.

Homb, A. and P.J. Hovde. 1993. *Water absorption by diffusion in foam insulation materials*. Third Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, København 13. – 15. sept 1993.

Homb, A., H.B. Skogstad and J.V. Thue. 1993. *Laboratory measurements of moisture conditions in different wood frame walls*. Third Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, København 13. – 15. sept 1993.

Nielsen, T., E. Bergheim and S. Uvsløkk. 1996. Permeance measurements of materials with extremely low resistance to water vapour diffusion. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Noreng, K. 1996. Vapour barriers in roof constructions. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Støre, M. 1996. Water vapour permeability and sorption curves of painted substrates. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Støre, M. and A.Homb. 1995. Moisture content in inverted roof constructions - Results from a test house. In: *CIB-W40 International Symposium on Moisture problems in Building Walls*, Porto Sept. 1995, Portugal.

Thue, J.V., H.B.Skogstad and H.Furunes. 1996. Drying of the timber frame after a flood - results from laboratory experiments. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Time, B. 1996. Moisture transport and absorption properties of wood. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Uvsløkk, S., H.B. Skogstad and I. Aske. 1996. Natural convection in timber frame walls with thick thermal insulation layer. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Økland, Ø. 1996. Effect of convection on the hygrothermal performance of timber frame walls – results from experimental investigations. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

Økland, Ø. and A. Nielsen. 1996. A method for finding risk of moisture convection. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, September 9 – 10, Espoo, Finland.

#### **Internasjonale publikasjoner, «reviewed journals»:**

Geving, S., A. Karagiozis and M. Salonvaara. 1997. Measurements and two-dimensional computer simulations of the hygrothermal performance of a wood frame wall. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*, Vol. 20, April 1997, pp. 301 – 319.

Thue, J.V., A. Homb and H.B. Skogstad. 1996. Wood frame walls in cold climate - Vapour barrier requirements. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*, Vol 20, July 1996.

Uvsløkk, S. 1996. The importance of wind barriers for insulated timber frame constructions. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*, Vol 20, July 1996.

#### **Rapporter presentert ved arbeidsmøter i IEA Annex 24 - Heat, air and moisture transfer in new and retro-fitted insulated envelope parts (HAMTIE) 1993-96:**

Geving, S. 1994. *Averaging of climatic data and its effect on moisture transfer calculations*. Report T2-N-94/04.

Geving, S. 1994. *Norwegian indoor climate classes calculated by CLIMCHCK-Program*. Report T2-N-94/01.

Geving, S. 1994. *Reports on Norwegian environmental conditions*. Report T2-N-94/02.

Homb, A. and M. Støre. 1995. *Moisture content in inverted roof constructions: Results from a test house*. Report T1-N-95/01.

Hovde, P.J. 1995. *Durability performances and criteria. Corrosion of reinforced concrete and metallic cladding in Norway with relevance to heat-, air- and moisture transfer in buildings*. Report T5-N-95/03.

Thue, J.V. 1993. *Past and present norwegian research on heat, air and moisture (HAM) related problems in buildings*. Report T4-N-93/01.

Thue, J.V. 1993. *Report on Norwegian National construction light weight roofs- wooden, sloped, ventilated (parallel roofs)*. Report T4-N-93/03.

Thue, J.V. 1994. *Outline of a Norwegian research project: Thermal and moisture conditions in highly insulated building envelope parts*. Report T4-N-94/02.

Thue, J.V., A. Homb and H.B. Skogstad. 1994. *Vapour barrier requirements in wood frame walls: Laboratory tests*. Report T4-N-94/01.

Thue, J.V., S.Geving, B.Time, M. Støre, Ø. Økland. 1993. *Fourth common exercise: Heat, air and moisture transfer in industrial roofs*. Report T1-N-93/01.

Thue, J.V., S. Geving, B. Time, M. Støre, Ø. Økland. 1994. *Fifth common exercise: Moisture conditions of nonventilated, wood based membrane roof components*. Report T1-N-94/01.

Uvsløkk, S. 1993. *Field measurements in a new test house description of roof and wall sections to be investigated*. Report T4-N-93/02.

Uvsløkk, S. 1994. *The importance of wind barriers for insulated timber frame constructions*. Report T5-N-94/01.

Uvsløkk, S. 1995. *U-values of wall constructions. Influence of workmanship*. Report T5-N-95/02, IEA Annex 24, HAMTIE.

Økland, Ø. 1994. *Moisture production in some Norwegian buildings*. Report T2-N-94/03.

### **Arbeidsrapporter:**

Blom, P. 1995. *Klimadata for MATCH fuktbergningsprogram. Utarbeidelse av MATCH klimafilere for 8 steder i Norge*. Arbeidsrapport 2.

Geving, S. 1995. *Choice of representative weather data for moisture design calculations*, Working report 6 .

Geving, S. 1995. *Innsamling og bearbeiding av klimadata til fuktbergninger*, Arbeidsrapport 3.

Geving, S. 1997. *Norske klimadata. Oversikt over klimadata tilgjengelig ved Byggforsk og Institutt for bygg og anleggsteknikk*. Arbeidsrapport 10.

Noreng, K. og S. Geving. 1997. *Litteraturundersøkelse. 2. utgave*. Arbeidsrapport 1.

Støre, M. and A. Homb. 1997. *Fuktinnhold i isolasjon på omvendte tak. Resultater fra forsøks huset på Tyholt 1980 – 1992*. Arbeidsrapport 7.

Time, B. 1995. *Water vapour permeability measurements of spruce. Cup measurements*. Working report 4.



Time, B. 1996. *Sorption measurements of spruce exposed to cyclic step changes in relative humidity*. Working report 8.

Time, B. 1997. *Moisture in spruce. Part 1 – Use of a modified timber drying apparatus for sorption measurements of spruce, Part 2 – Modelling and calculations of moisture transport in spruce*. Working report 11. Second edition.

Økland, Ø. 1996. *Air permeability of fibrous insulation materials*. Working report 9.

Aarseth, L-I. 1997. *RF-måling i fuktig betong. Responstider og målenøyaktighet for syv måleinstrumenter*. Arbeidsrapport 12.

### **Rapporter utgitt i Byggforsks ordinære prosjekt-serie:**

Bergheim, E., S. Geving and B.Time. 1998. *Measurements of water vapour permeability and hygroscopic sorption curves for various building materials*. Project report.

Geving, S. 1997. *Beregningsprogrammer for fuktteknisk analyse av bygningskonstruksjoner*. Prosjektrapport 226.

Geving, S. og S.E. Torgersen. 1997. *Klimadata for fuktberegninger. Referanseår for 12 steder i Norge og klimadata for konstruksjoner mot grunnen*. Prosjektrapport 227.

Noreng, K. 1995. *Dampsperrer i tak*. Prosjektrapport 190.

Uvsløkk, S., S.Geving and H.B.Skogstad. 1998. *Field measurements of moisture conditions in timber frame roof and wall structures. Description and results from a test house in Trondheim*. Project report.

### **Fuktrelaterte hovedoppgaver og prosjektoppgaver ved IBA:**

Bigseth, L. 1994. *Fukt- og temperaturforhold i høyisolerte bygningskonstruksjoner*. Hovedoppgave.

Bjerkevoll, G.O. 1994. *Hot-boks målinger på høyisolerte bygningskonstruksjoner*. Hovedoppgave

Drage, H.E. 1993. *Fuktforhold i bindingsverksvegger*. Hovedoppgave.

Farsund, T.O. og K.Nesset. 1995. *Fukt i trekledninger*. Prosjektoppgave.

Furunes, H. 1995. *Flomskader og uttørring av tre*. Hovedoppgave.

Hammari, R. 1996. *Fuktopptak i skumplastene polystyren*. Prosjektoppgave.

Johannessen, E. 1995. *Fukt- og temperaturforhold i høyisolerte bygningskonstruksjoner*. Prosjektoppgave.

Johannessen, E. 1995. *Hot-boks målinger på høyisolerte bygningskonstruksjoner*. Hovedoppgave.

Jordanger, G.O. 1995. *Naturlig konveksjon i vegger - Laboratorieforsøk*. Hovedoppgave.

Kristensen, J.B. og G.O. Bjerkevoll. 1994. *Fukt i trekledninger*. Prosjektoppgave.

Sandrød, K.K. 1997. *Løs LECA som isolasjon mot grunnen*. Hovedoppgave.

Vik, T.A. 1995. *Fukt- og temperaturforhold i høyisolerte bygningskonstruksjoner*. Prosjektoppgave.

Vik, T.A. 1996. *Bestimmung geeigneter feuchtetechnischer Stoffeigenschaften von Holz und Berechnung des Feuchtehaushaltes unter Verwendung der ermittelten Kennwerte*. Hovedoppgave.

#### **Dr. ing. avhandlinger:**

Geving, S. 1997. *Moisture design of building constructions. Hygrothermal analysis using simulation models. Part I*. Institutt for bygg og anleggsteknikk, NTNU.

Geving, S. 1997. *Moisture design of building constructions. Hygrothermal analysis using simulation models. Part II. Collection of papers and reports*. Institutt for bygg og anleggsteknikk, NTNU.

Tre andre dr.avhandlinger ved Institutt for bygg og anleggsteknikk, NTNU, forventes slutført i løpet av våren 1998:

Støre, M. *Moisture transfer on painted substrate*.

Time, B. *Hygroscopic moisture transport in wood*.

Økland, Ø. *Convection in highly insulated building constructions*

#### **Diverse:**

Geving, S., J.V. Thue og S. Uvsløkk. 1996. *Byggforsk og IBA informerer: Beregning av fuktforhold i bygningskonstruksjoner*. Byggeindustrien nr. 12, 1996.

Geving, S., J.V.Thue og S.Uvsløkk. 1996. *Byggforsk og IBA informerer: Fuktdimensjonering av bygninger*. Byggeindustrien nr. 17, 1996.

Hovde, P.J. ed. 1994. *Proceedings from Nordic Workshop: Moisture in building materials and constructions*. Trondheim (NTH-NBI) august 25. – 26. 1994.

Uvsløkk, S. og J.V. Thue. 1995. *Byggforsk og IBA informerer: Forskning om fukt i bygg*. Byggeindustrien nr. 14, 1995.



