

5151-10001

Bygningers fugtisolering



SBI-ANVISNING 139 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1984



BYGNINGERS FUGTISOLERING

NILS ERIK ANDERSEN
GEORG CHRISTENSEN
FLEMING NIELSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ix.7 00182/P
19 FEB. 1997



SBI-anvisninger

er egne eller andres forskningsresultater bearbejdet til brug ved planlægning, projektering, udførelse og drift af bygninger og byggeselskaber.

SBI-publikationer

Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Landbrugsbyggeri, Byplanlægning, Pjecer, Ydeevnebeskrivelser, Særtryk og Nomoogrammer. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Institutets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement

Institutets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0560-5.

ISSN 0106-6757.

Pris: Kr. 66,50 inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 5000.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Tegninger: Bente Pedersen.

Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelse:

SBI-anvisning 139: Bygningers fugtisolering. 1984.

Indhold

<i>Forord</i>	side	6
<i>Fugtlære</i>		7
Fugt i luft		7
Luftens fugtindhold		8
Udeklima		10
Indeklima		12
Overfladekondens		15
Fugt i byggematerialer		17
Fugtligevægt		19
Dimensionsændringer af træ		25
Diffusion		26
<i>Fugtmåling</i>		31
Måling af relativ luftfugtighed		31
Måling af fugt i byggematerialer		34
<i>Fugt i bygninger</i>		37
Grundfugt		38
Nedbør		38
Luftfugt og kondensation		39
Luftfugt og ventilation		42
Udtørring af byggefugt		43
<i>Fugt og kældre</i>		46
<i>Fugt og krybekældre</i>		54
<i>Fugt og terrændæk</i>		62
<i>Fugt og ydervægge</i>		68
<i>Fugt og vinduer</i>		77
<i>Fugt og tage</i>		82
<i>Litteratur</i>		99

Denne anvisning handler om fugt og fugttransport i bygninger samt om forebyggelse af skadelige påvirkninger af fugt i konstruktioner. I den første del gives en udførlig omtale af den grundlæggende viden om fugt for at gøre det muligt for læseren at vurdere også andre udformninger af bygningsdele end dem, der er beskrevet i anvisningen.

Der er i anvisningen specielt lagt vægt på at vise, hvorledes det kan forhindres, at fugtig rumluft strømmer ud i konstruktionerne med efterfølgende kondensation til følge. Dette er et problem, som ikke hidtil har været ofret tilstrækkelig opmærksomhed.

SBI har i forbindelse med anvisningens udarbejdelse været i kontakt med en række fagfolk fra byggeindustrien og SOFUS-BYG og vil i den anledning gerne rette en tak til de mange, som er fremkommet med kommentarer og ideer til ændringer.

Anvisningen indgår i SBI's »gule serie«, der knytter sig til bygningsreglementet, og erstatter de 8 SBI-fugtpjecer hvortil der er henvist i boligministeriets vejledning til Bygningsreglement 1982. Fugtpjecernes generelle stof er dog stadig gyldigt, og den væsentligste forskel imellem konstruktionseksemplerne i fugtpjecerne og i denne anvisning er, at tykkelserne af varmeisoleringen i samtlige konstruktionseksempler er blevet væsentligt forøgede. Dette skyldes naturligvis bygningsreglementets kraftigt skærpede varmeisoleringskrav.

Fugt i luft

Fugt i udeluft

Den atmosfæriske luft, som omgiver os, indeholder altid mere eller mindre fugt i form af usynlig vanddamp. Vanddampen tilføres luften ved fordampning fra hav, søer, fugtig jord og planter. Når jordens atmosfære ikke til stadighed er mættet med vanddamp, selv ikke over havene, skyldes det temperaturforholdene i atmosfæren. Når luft stiger til vejrs, afkøles den, hvorved vanddampen fortættes og danner skyer, og en del vanddamp falder som nedbør. Når solen opvarmer jordoverfladen, fordampes der igen vand, som føres til vejrs, afkøles og igen falder som nedbør. Dette kredsløb foregår til stadighed, drevet af solstrålingen.

Fugt i indeluft

Fugtindholdet i luften inde i vore bygninger bestemmes af fugtindholdet i den atmosfæriske luft, som vi ventilerer vore bygninger med, samt af de ekstra fugtmængder, vi tilfører i form af fugt fra f.eks. udånding og tøjtørring. Især om vinteren vil fugtindholdet i indeluften derfor normalt ligge væsentligt over fugtindholdet i udeluften. Om sommeren – med åbne vinduer – vil fugtindholdet i luften være nær det samme ude og inde.

Når fugtindholdet er større inde end ude, vil der være en tendens til, at vanddampmolekylerne søger indefra ud mod det fri gennem bygningens konstruktioner, og det indebærer en risiko for, hvis der er temperaturfald gennem konstruktionen, at vanddamp vil kunne samle sig som kondensvand og forårsage fugtskader.

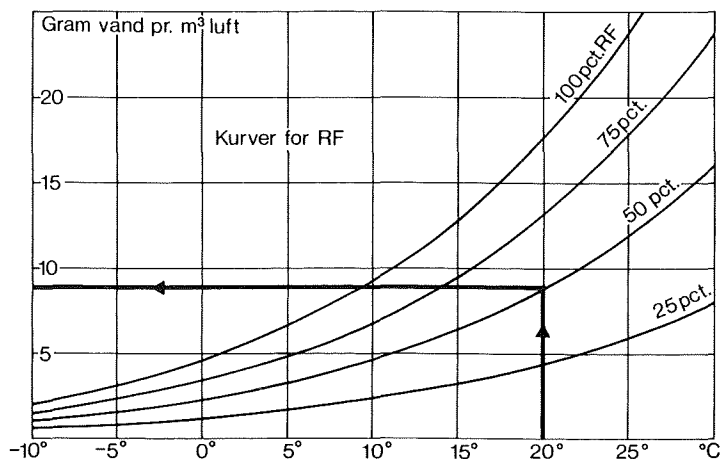
Et væsentligt element i fugtlæren er de fysiske love for luftens evne til at indeholde og at afgive vanddamp. Det grundlæggende forhold er, at luft ved en given temperatur kun kan indeholde en begrænset mængde vanddamp, samt at luften kan indeholde større mængder vanddamp jo højere temperaturen er. Denne fysiske sammenhæng fremgår af det såkaldte vanddampdiagram, som omtales i det følgende.

Luftens fugtindhold

Ved 0 °C kan 1 m³ luft indeholde ca. 4,5 g vanddamp, medens den ved f.eks. 20 °C kan indeholde ca. 17,5 g vanddamp. Ved forsøg har man fundet det størst mulige vanddampindhold for luft ved forskellige temperaturer. Resultatet af forsøgene kan optegnes i et vanddampdiagram. Se figur 1, den øverste kurve mærket 100 pct. RF.

Ude- og indeluften indeholder så godt som aldrig den størst mulige mængde vanddamp. Kun i tåge og regnvejr er udeluften mættet med vanddamp. Luft ved 20 °C kan maksimalt indeholde ca. 17,5 g vanddamp pr. m³, og hvis den kun indeholder ca. 9 g, altså 50 pct. af det maksimale, siger man, at den relative luftfugtighed er 50 pct. Indeholder luften 13 g vanddamp pr. m³, stadig ved 20 °C, er den relative luftfugtighed tilsvarende 75 pct. Den relative luftfugtighed forkortes RF.

Vanddampdiagrammet i figur 1 viser vanddampindholdet ved varierende temperatur og RF. Hvert punkt i området op til den øverste kurve svarer til luft med en bestemt temperatur



Figur 1. Vanddampdiagram. Den øverste kurve viser det størst mulige vanddampindhold i g pr. m³ luft ved forskellige temperaturer, svarende til 100 pct. relativ luftfugtighed (RF). På diagrammet kan luftens vanddampindhold aflæses ved varierende temperatur og henholdsvis 25, 50, 75 og 100 pct. RF.

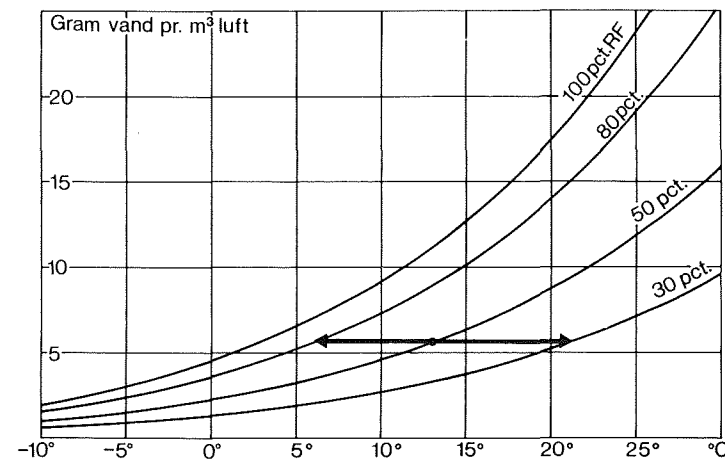
Temperatur (°C),
Fugtindhold
(g/m³),
RF (pct.)

(°C), et bestemt fugtindhold (g/m³) og en bestemt RF (pct.). Hvis man kender to af disse størrelser, kan den tredje aflæses af diagrammet. Hvis man eksempelvis har målt temperaturen til 20 °C og RF til 50 pct., kan man aflæse i diagrammet, at vanddampindholdet er 9 g pr. m³.

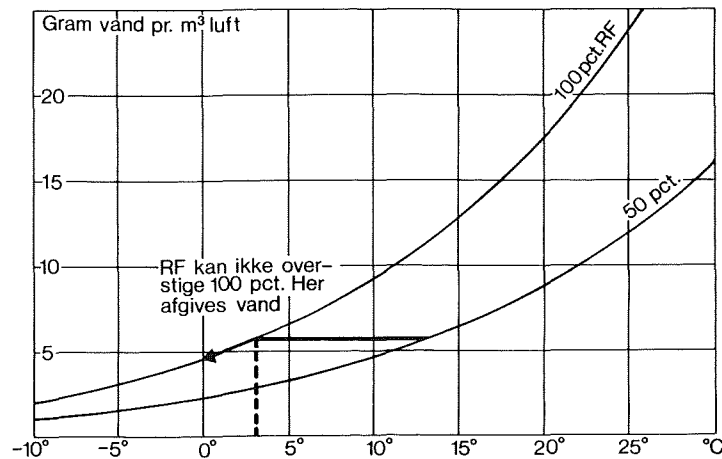
Når man foretrækker at angive den relative luftfugtighed i stedet for den absolute (g/m³), er det dels fordi den relative luftfugtighed er lettere at måle, dels fordi det er den relative luftfugtighed, der er bestemmende for byggematerialers vandindhold, således som det vil blive omtalt senere.

På et vanddampdiagram kan det ses, at såfremt luft med given temperatur og given relativ luftfugtighed opvarmes uden tilførsel af yderligere vanddamp, vil den relative luftfugtighed falde – svarende til at gå til højre i diagrammet, se figur 2.

Omvendt vil afkøling af luft med et givet indhold af vanddamp bevirke, at den relative luftfugtighed stiger – man går til venstre i diagrammet. Fortsættes afkølingen, stiger den relative luftfugtighed, indtil den når 100 pct. Den temperatur,



Figur 2. Pilene i dette vanddampdiagram illustrerer, hvordan den relative luftfugtighed, RF, falder ved opvarmning og stiger ved afkøling. Når luft ved for eksempel 13 °C og 50 pct. RF opvarmes til 21 °C, falder RF til 30 pct. Når den samme luft afkøles til 6 °C, stiger RF til 80 pct.



Figur 3. De videre konsekvenser af afkøling af luften i figur 2. Når luften, der oprindeligt var 13 °C og havde en RF på 50 pct., afkøles, stiger RF, indtil dugpunktet nås ved ca. 3 °C. De 5,5 g vanddamp pr. m³ luft, der ved 13 °C svarer til 50 pct. RF, svarer ved 3 °C til 100 pct. RF. Hvis luften afkøles yderligere, f.eks. ned til 0 °C, kan den kun indeholde ca. 4,5 g vanddamp pr. m³, og 1 g udskilles da som vand.

Dugpunkttemperatur

hvor den relative luftfugtighed har nået 100 pct., kaldes dugpunkttemperaturen eller blot dugpunktet, og den aflæses på diagrammets x-akse lodret under skæringspunktet, se figur 3.

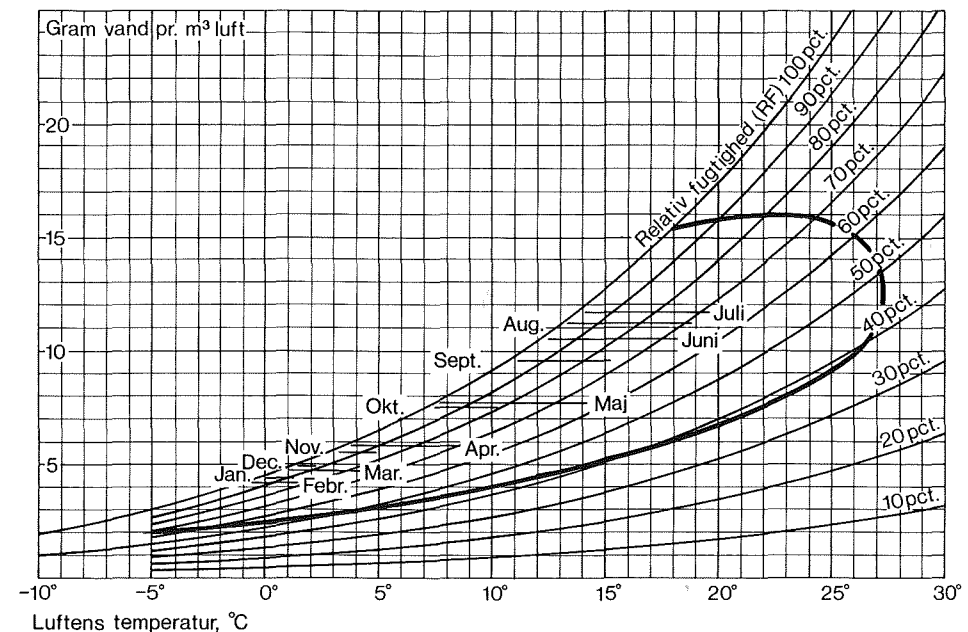
Afkøles længere ned end til dugpunktet, udskilles vand, idet luften kun kan indeholde den vanddampmængde, der svarer til RF = 100 pct.

Udeklima

Luftfugtigheden varierer med årstiden

Luftens fugtighed varierer med årstiden. Normalt indeholder udeluften om sommeren omkring 10 g vanddamp pr. m³, svarende til en gennemsnitlig relativ luftfugtighed på ca. 75 pct. Om vinteren er det absolutte vanddampindhold lavt, kun ca. 5 g pr. m³, men den relative luftfugtighed er høj, gennemsnitlig omkring 90 pct.

På figur 4 ses det område, inden for hvilket udeklimaet varierer døgnet rundt i løbet af et år, indtegnet på vanddampdia-

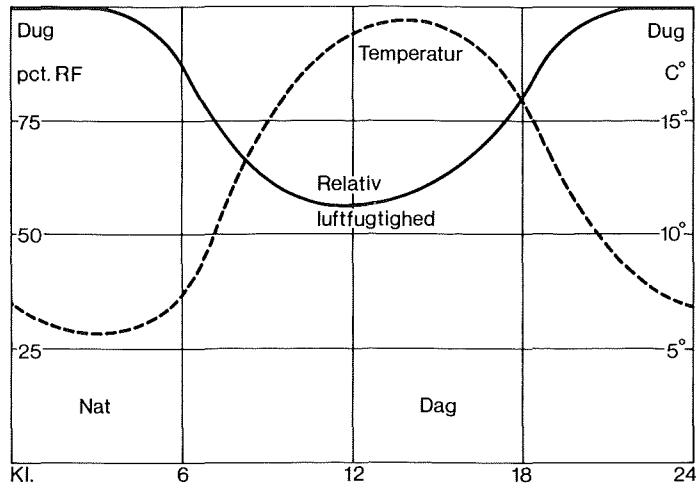


Figur 4. Inden for det område, som er begrænset af den øverste kurve i vanddampdiagrammet og den kraftige linie, varierer udeluftens temperatur, vanddampindhold og den relative fugtighed RF døgnet rundt gennem hele året. Diagrammet er udført på basis af meteorologiske observationer hver time døgnet rundt i en 15 års periode. 99 pct. af de målte timeværdier ligger i det viste område. De vandrette streger angiver de gennemsnitlige variationer i udeluftens temperatur og RF i løbet af et døgn i hver af årets måneder.

Luftfugtigheden varierer i døgnet

grammet. Også de gennemsnitlige variationer inden for et døgn i hver af årets måneder er vist.

Gennemsnitstal for et år eller for en måned dækker over store daglige variationer. Når temperaturen stiger om dagen, falder den relative luftfugtighed, og om sommeren er den ofte nede omkring 50 pct. midt på dagen. Når temperaturen falder om natten, stiger den relative luftfugtighed og når ofte 100 pct., så der dannes dug og måske tåge. Det sker især i klart vejr uden skydække til at hæmme varmeudstråling fra jordoverfladen til rummet. Figur 5 viser de store ændringer, som sker i udeluftens temperatur og relative fugtighed i løbet af et sommerdøgn med skyfri himmel.



Figur 5. I et sommerdøgn med skyfrit vejr varierer temperaturen ofte fra 20 °C om dagen til 5 °C om natten. Inden for samme døgn er luftfugtigheden lige ved 100 pct. RF om natten, men falder til f.eks. 50 pct. ved middagstid. Grunden til den store variation i relativ luftfugtighed er, at luftens absolutte vanddampindhold er næsten konstant døgnet rundt.

Indeklima

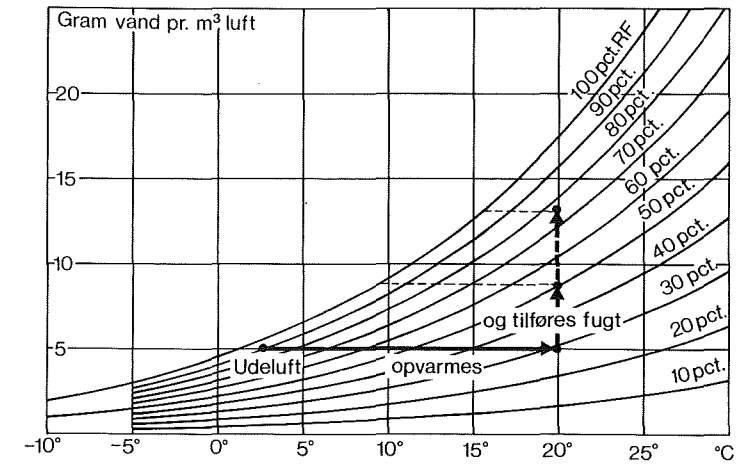
Udeluftens indhold af vanddamp er som nævnt lavt om vinteren. Når den kolde luft føres ind i opvarmede rum, opvarmes den, og den relative luftfugtighed falder derfor kraftigt, som det kan aflæses på vanddampdiagrammet i figur 6.

Imidlertid tilføres indeluften vanddamp fra personer og planter og måske også fra madlavning, vask osv. I vintermånederne når indeluften herved en tilstand, hvor den relative fugtighed normalt er mellem 30 og 50 pct.

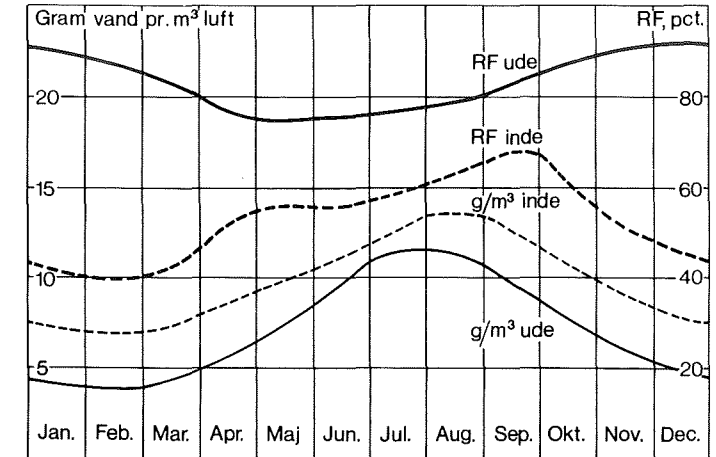
Luften i et opvarmet, beboet rum vil således indeholde mere vanddamp end udeluften. Dette forhold er afgørende for forståelsen af, hvorledes bygningskonstruktioner skal opbygges. Det betyder også, at udluftning altid fjerner vanddamp fra rummet, selv i regnvejr.

Figur 7 viser en typisk variation af luftfugtigheden ude og inde gennem hele året.

Indeluften tilføres fugt

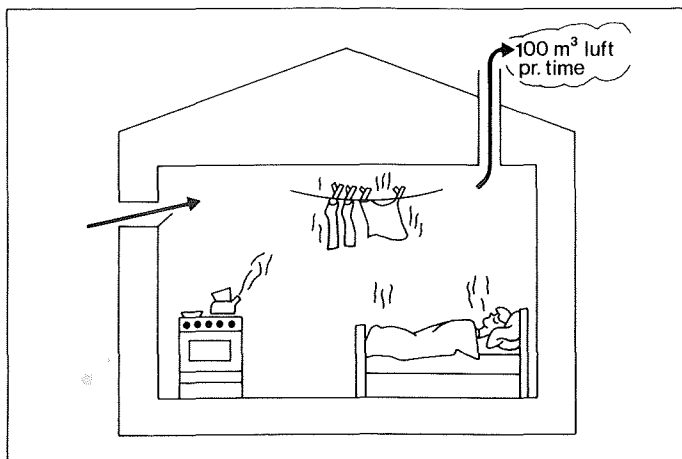


Figur 6. Når den kolde udeluft om vinteren – her vist med 90 pct. RF og et vandindhold på 5 g pr. m³ – kommer ind i et opvarmet rum, falder den relative luftfugtighed kraftigt. Samtidig tilføres der vanddamp fra personer, planter m.m.



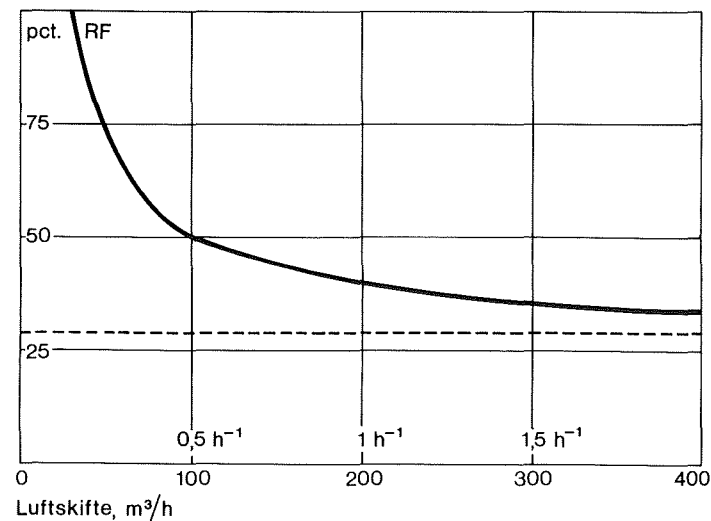
Figur 7. Typisk variation af den relative luftfugtighed ude og inde gennem året. Den relative fugtighed inde er højest fra august til oktober, lavest fra december til marts. Det er forudsat, at fugttilførslen indendørs medfører et vanddampindhold, som er 3 g pr. m³ højere inde end ude, dog ikke i sommermånederne, hvor der luftes mere ud end resten af året. Indetemperaturen er regnet til 23 °C i juli og august, 22 °C i juni og september, og 20 °C resten af året.

I et ikke udluftet rum, hvori der opholder sig mennesker, vil luften hurtigt blive mættet med vanddamp og der vil opstå kondensproblemer. Hvis derimod luftskiftet er stort og fugttilførslen ringe, kan den relative luftfugtighed blive lav, i frostperioder endda under 20 pct. Et luftskifte på omkring $\frac{1}{2}$ gang (rumfanget) i timen vil normalt være passende i boliger, se figur 8 og 9.



Figur 8. Fugttilførsel og nødvendigt luftskifte. Hvis rumluften er 20 °C med 50 pct. RF, indeholder den ca. 9 g vand pr. m³. Hvis udeluften indeholder 5 g vand pr. m³, fjernes der altså 4 g vand for hver m³ indeluft, der udskiftes med udeluft. En familie på 4 personer tilfører rumluften ca. 10 l vand i døgnet. For at fjerne dette skal luftskiftet være 10000:4 = 2500 m³ pr. døgn eller ca. 100 m³ pr. time. Er boligen 80 m² med rumhøjde 2,5 m, i alt 200 m³, skal luften altså udskiftes på to timer. Luftskiftet skal med andre ord være $\frac{1}{2}$ gang i timen.

Er luftskiftet kun $\frac{1}{4}$ gang i timen, svarende til 50 m³ udskiftet luft pr. time, vil der indtræde balance mellem luftfugtighed ude og inde ved ca. 75 pct. RF (= 13 g vand pr. m³ indeluft ved 20 °C), hvilket er uacceptabelt.



Figur 9. Relativ luftfugtighed som funktion af luftskiftet. Kurven er beregnet for en bolig på 200 m³ og i øvrigt med udeluft og fugttilførsel som anført i figur 8. Hvis luftskiftet reduceres til under 0,5 gange (rumfanget) i timen, stiger luftfugtigheden kraftigt, og der vil hurtigt opstå kondens på vinduer og ydervægge og herved mulighed for mugdannelse. Ved et luftskifte på 2 gange i timen nærmer luftfugtigheden sig de 29 pct. RF, som svarer til tilstanden uden fugttilførsel, dvs. at udeluft med et vanddampindhold på 5 g pr. m³ opvarmes til 20 °C.

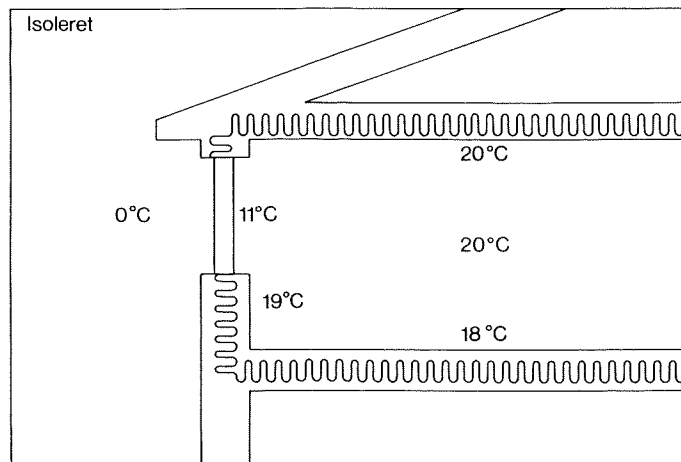
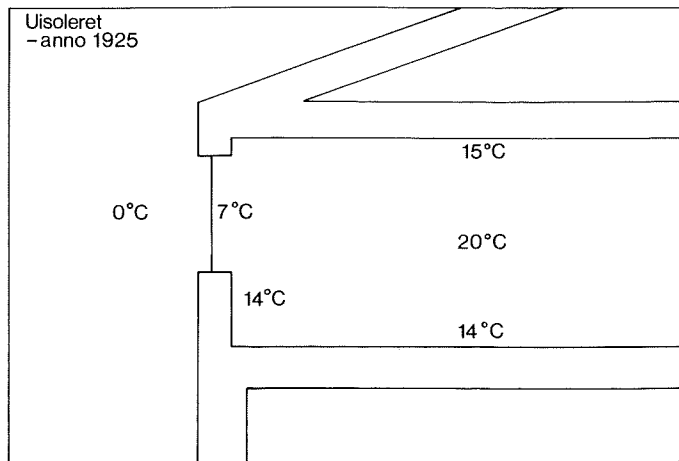
Overfladekondens

I et rum med en høj relativ luftfugtighed vil der være stor risiko for, at luften lokalt – f.eks. på vinduesruder eller på en dårligt isoleret ydervæg – afkøles til under dugpunkttemperaturen med det resultat, at der kondenserer vanddamp på den kolde flade. Kondensproblemer opstår naturligvis mest under vinterforhold, hvor der derfor er et særligt behov for et rigeligt luftskifte for at holde luftens fugtindhold lavt.

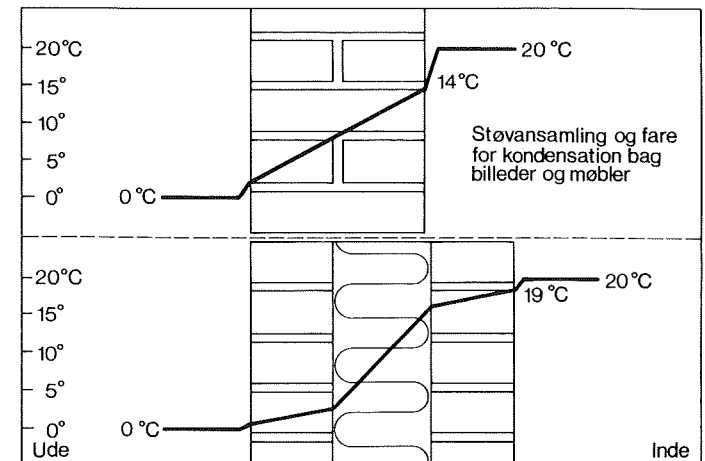
Da vinduesruderne i et rum sædvanligvis er det koldeste sted i rummet, kan man i praksis bruge den regel, at der skal udluftes så meget, at vinduer med to lag glas ikke dugger. Se figur 10.

Den indvendige overflade af en varmeisoleret ydervæg har en temperatur, som kun ligger 1–2 °C under rumtemperaturen, og der vil derfor under normale omstændigheder aldrig

Dug på
vinduesruder



Figur 10. For rumluft med 20 °C og 50 pct. RF er dugpunkttemperaturen 9 °C. Dette betyder, at der om vinteren med sikkerhed vil komme dug på et vindue med enkeltglas, idet glassets temperatur er 7 °C ved udetemperatur 0 °C. Også på en tolags termorude vil der være begyndende dugdannelse ved en relativ luftfugtighed på omkring 50 pct. Ganske vist kan man beregne temperaturen på det indvendige glas til 11 °C, men der er en så kraftig kuldebro ved termorudens kanter, at temperaturen her er nogle grader lavere.



Figur 11. Overfladetemperaturer og temperaturfald om vinteren gennem en massiv ydervæg af teglsten og gennem en 35 cm hul, isoleret ydervæg af teglsten. En hul mur uden hulrumsisolering har praktisk taget samme indvendige overfladetemperatur som den massive mur, og det betyder, at der er fare for kondensation, især bag ved f.eks. billeder og møbler.

Kondens på konstruktioner

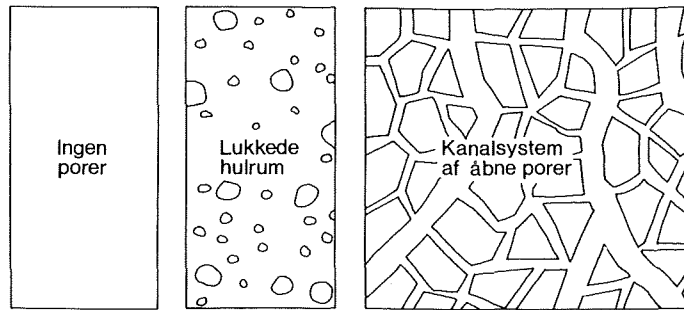
kunne opstå kondensation på en godt isoleret ydervæg. På den indvendige overflade af en dårligt isoleret ydervæg kan der derimod let være en temperatur, som ligger 5–6 °C under rumtemperaturen, og hermed en fare for kondensation. Se figur 11. Er der først kondensation på vægoverfladen, suges vandet ind i væggen, hvorved dens isoleringsevne forringes, og væggen bliver endnu koldere med yderligere kondensdannelse til følge.

Man er altså inde i en selvforstærkende proces, der kun kan standses ved en kraftig forøgelse af ventilationen og eventuelt også en forøgelse af rumtemperaturen, eller ved isolering af væggen.

Fugt i byggematerialer

Tætte materialer

Metaller, glas og mange stenarter er helt tætte, så der ikke kan trænge vand eller vanddamp ind i dem. Men de fleste byggematerialer er porøse, dvs. at de indeholder et system af porer eller hulrum af forskellig karakter.



Figur 12. Til venstre et materiale uden porer, f.eks. metal. I midten et materiale med lukkede porer, f.eks. skumglas. Til højre et materiale med åbne porer. Til den sidste kategori hører de fleste almindelige byggematerialer.

Porøse materialer

I langt de fleste porøse materialer danner porerne et sammenhængende kanalsystem, som er mere eller mindre gennemtrængeligt for luft og vanddamp og også for vand, se figur 12. I tørt materiale er porerne luftfyldte, og luften i porerne har samme vanddampindhold, dvs. samme relative luftfugtighed som den omgivende luft. I vådt materiale er poresystemet mere eller mindre fyldt med vand.

Tegl er dannet ved, at små lerpartikler ved brændingen er smeltet sammen i berøringspunkterne. Beton er småsten og sand, som er kittet sammen af cementpasta bestående af mikroskopiske krystaller. Træ er opbygget af rørformede vedceller, og yderligere indeholder cellevæggene yderst fine porer.

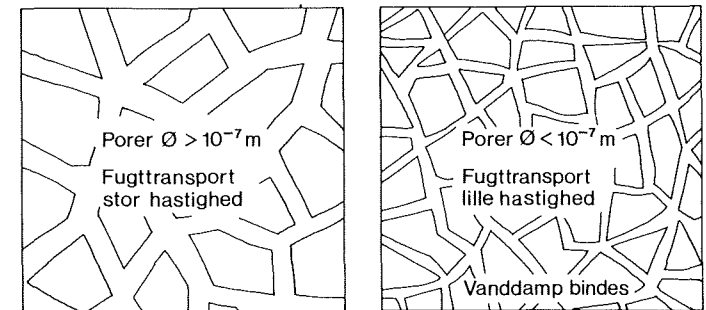
Kapillarsugende materialer

Nogle byggematerialer er født våde, f.eks. beton og træ, og udtørringen er som bekendt en proces, som kan tage tid og give mange praktiske problemer i byggeriet. Derimod går det ofte særdeles hurtigt at gøre et tørt materiale vådt, idet vandet ligefrem suges ind i porerne eller kapillarerne (kapillarsugning eller hårrørsvirkning). Materialet siges at være kapillarsugende, se figur 13.

Når f.eks. enden af en mursten dyppes i vand, varer det ikke længe, før hele stenen er trukket fuld af vand. Kapillarsugningen går hurtigere, jo grovere porerne er, men til gengæld er den kapillare stighøjde størst for de finere porer.

Kapillarbrydende materialer

Materialer kaldes kapillarbrydende, hvis de ikke er i stand til at suge vand. Det kan enten være »materialer« med meget



Figur 13. Træ, tegl og beton er gennemkrydset af et system af porer eller kapillarer, hvor igennem vand kan trækkes ind i materialet ved kapillarsugning. Desuden kan vanddamp vandre ind i de fineste porer, hvor det bindes som vand, så porerne er vandfyldte, selv når materialet forekommer at være tørt. Både opsugning og udtørring sker desto hurtigere, jo grovere materialets porer er.

grove porer, f.eks. et lag ærtesten eller singels, hvor stenene vel at mærke ikke må være sugende i sig selv, eller det kan være finporede materialer, som er gjort vandafvisende, f.eks. mineraluld og skumplastprodukter med lukkede porer. Endelig er helt tætte materialer som metaller, glas og plastfolie kapillarbrydende. Sand er derimod ikke kapillarbrydende. Som grov regel kan man regne med, at kornstørrelsen skal være mindst 4 mm og lagtykkelsen 150 mm, for at vasket stenmateriale med rimelig sikkerhed kan forventes at være kapillarbrydende. I Dansk Ingeniørforenings norm for dræning af bygværker, DS 436, er nærmere defineret kravene til kapillarbrydende materialer.

Fugtligevægt

Porøse materialer indeholder vand, selv når de forekommer at være tørre. Vandindholdet afhænger af den omgivende lufts relative fugtighed og af materialets porestruktur.

Træ indeholder mere vand end tegl ved en given relativ luftfugtighed, se figur 14. Det skyldes, at tegl i overvejende grad har grove porer, medens træ både har mange grove porer – cellerne i træet – og utallige fine porer i cellernes vægge, hvilket alt i alt giver en meget stor indre overflade, hvortil fugten kan bindes (adsorberes). Desuden er de fineste porer helt

Adsorption

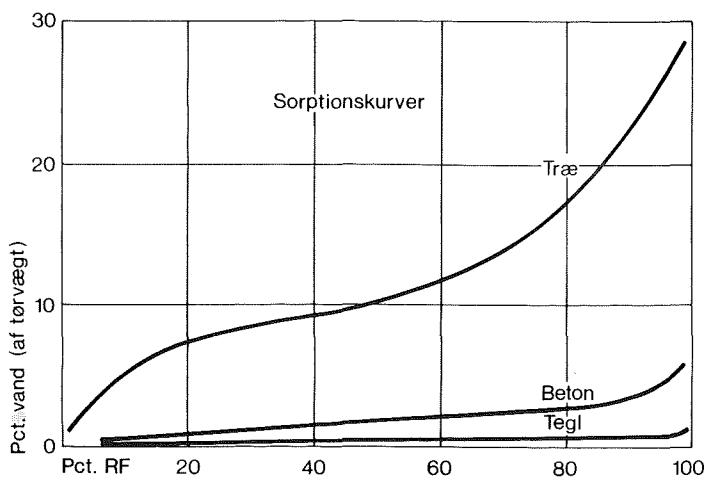
Sorptionskurve

Udtørring

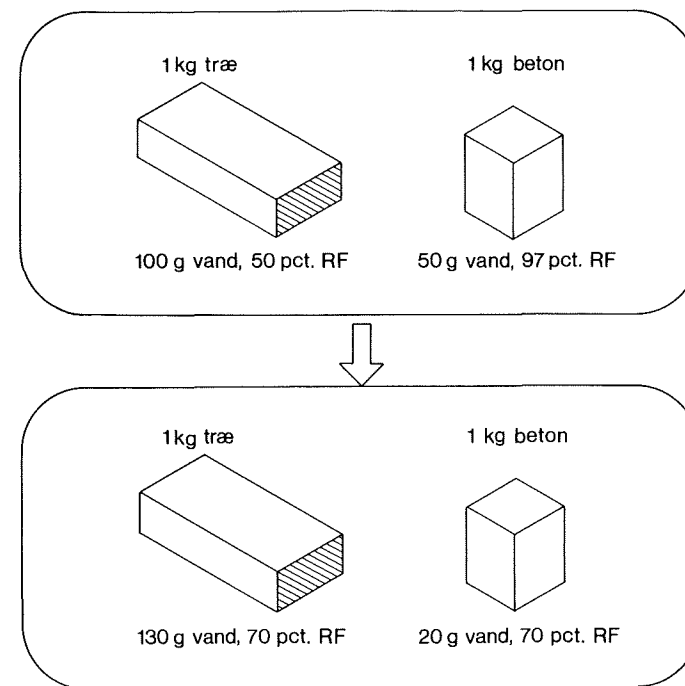
vandfyldte ved høj relativ luftfugtighed, på grund af såkaldt kapillarkondensation.

Porøse materialer vil optage eller afgive fugt, indtil de når en ligevægtstilstand med den omgivende lufts fugtindhold. Kurver, der viser materialers vandindhold i ligevægt med luft af forskellig relativ fugtighed, kaldes fugtligevægtskurver eller sorptionskurver, se figur 14. Et materiales vandindhold angiver vægten af det optagne vand i procent af materialets tørvægt.

I mange tilfælde kan materialer komme til at indeholde væsentlig mere vand, end hvis de var i ligevægtstilstand med den omgivende lufts fugtighed. Det kan skyldes nedbør og kondensation, eller at der er tilført vand under byggeprocessen. Udtørring bringer vandindholdet ned mod ligevægtstilstand med den omgivende luft.



Figur 14. Sorptionskurver for træ, beton og tegl. Den øverste kurve viser, at i luft med 50 pct. RF vil træ få et vandindhold på 10 pct., f.eks. træ indendørs om sommeren. Træ indendørs om vinteren i opvarmede rum får et vandindhold på ca. 8 pct., når luftfugtigheden falder til omkring 30 pct. RF. Opbevares træ udendørs under tag, får det om sommeren et vandindhold på 15 pct. – svarende til 75 pct. RF – og om vinteren et vandindhold i træ på 20 pct. – svarende til 90 pct. RF. Et vandindhold i træ på 20 pct. er på grænsen for svampevækst, men faren modvirkes dog af vinterens lave temperaturer. Hvis træ er udsat for regn, kan vand blive trukket ind ved kapillarsugning, og vandindholdet kan da blive langt større end svarende til 100 pct. RF.



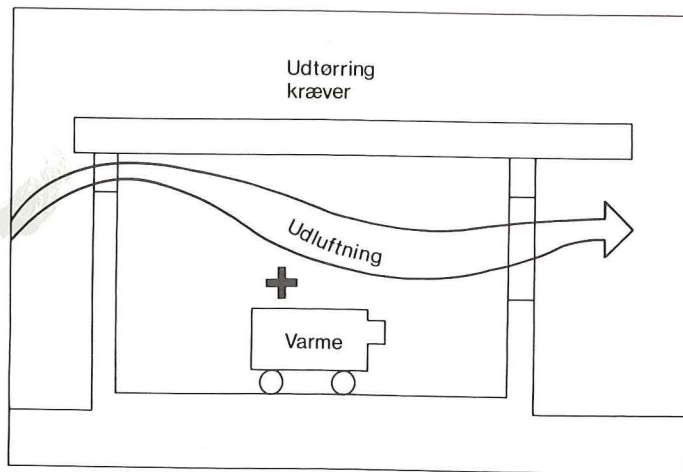
Figur 15. Eksperiment til illustration af fugtligevægt. Øverst: I en plasticpose anbringes en træklods med vægt 1 kg og vandindhold 100 g (10 pct.). Posen er diffusionstæt og rummer desuden 1 liter luft, som ved 20 °C maksimalt kan indeholde 0,017 g vand. Sorptionskurven figur 14 viser, at træets vandindhold svarer til 50 pct. RF. Denne luftfugtighed nås hurtigt ved, at træet afgiver eller modtager en minimal vandmængde til eller fra luften. Nu anbringes også en betonklods med vægt 1 kg og vandindhold 50 g (5 pct.) i posen. Sorptionskurven viser, at betonen vil afgive fugt til luften, således at RF stiger op mod 97 pct.

Nederst: Da betonen afgiver fugt, vil træet nu optage fugt, og denne fugtvandring vil fortsætte, indtil ligevægt indtræder, når begge materialers vandindhold svarer til luft med samme RF. Det sker ved ca. 70 pct. RF, hvor vandindholdet i træ er 13 pct. og i beton 2 pct. I alt flyttes 30 g vand.

Den hastighed, hvormed udtørring kan ske, afhænger af den omgivende lufts temperatur og fugtindhold og derved af udluftningen. Den drivende kraft ved udtørringen er forskellen mellem vanddampindholdet i den omgivende luft og i luften inde i materialets porer.

Varm, tør luft kan optage ganske store vandmængder fra våde materialer. Fjernes denne luft derefter ved ventilation og erstattes af ny, varm og tør luft, vil udtørringen blive fremskyndet. Dette betyder, at der til udtørring af byggefugt ikke alene kræves varme, men i lige så høj grad udluftning. Se figur 16.

Udtørringen vil gå hurtigst til at begynde med. På et givet tidspunkt nås imidlertid en grænse, hvor de yderste lag i materialet er tørret så meget, at vandet ikke mere kan trækkes frem til overfladen ved kapillarsugning. Et eksempel herpå er hvidtør beton. Fortsat udtørring må foregå ved, at vandet fordamp-

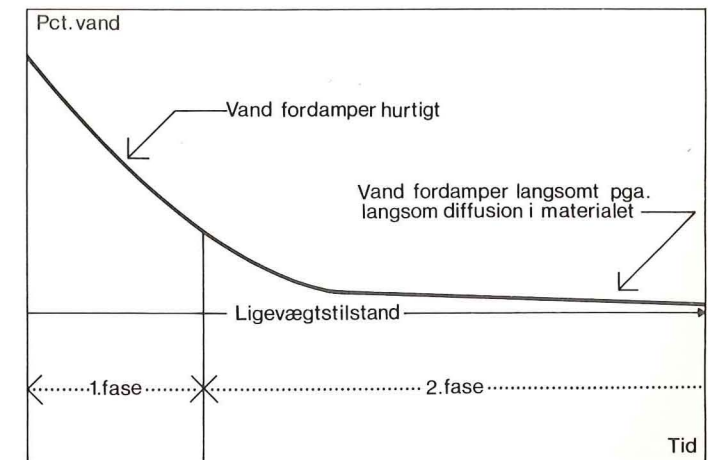


Figur 16. Udtørring af byggefugt sker ved kombination af opvarmning og udluftning. Den varme luft optager vand fra de våde materialer og bliver derved fugtig. Når den fugtige luft fjernes ved ventilation og erstattes af ny luft, som opvarmes, fortsætter fugtafgivelsen. Til udtørring benyttes også kondensstørring og absorptionstørring, se side 44.

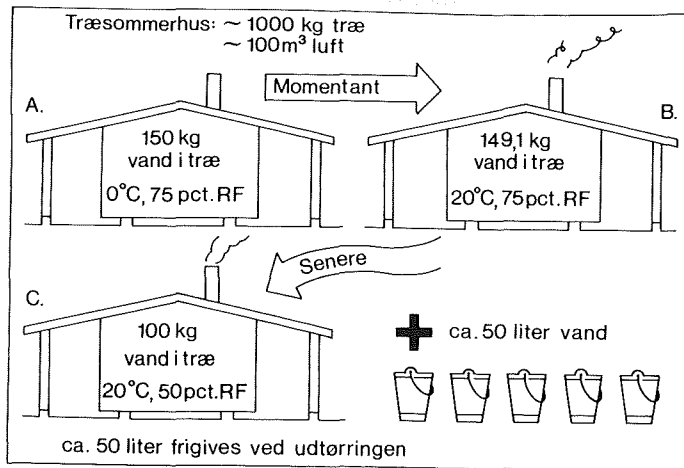
Fugtstødpude

per inde i materialet og vandrer (diffunderer) ud gennem porerne i form af vanddamp. Se figur 17. Denne sidste del af udtørringsprocessen sker langsomt – for visse materialer over et åremål.

Porøse materials evne til at optage fugt fra relativ fugtig luft og til at afgive fugt til relativ tør luft betyder, at de virker som fugtstødpude, og det giver i mange tilfælde en fordelagtig regulering af luftfugtigheden. Materialerne kan for eksempel virke dæmpende på luftfugtigheden i et lokale, hvor der midlertidigt fordampes en større mængde vand ved at mange mennesker forsamlles. En tilsvarende regulering af rumtemperaturen finder sted i lokaler, som begrænses af tunge materialer med stor varmeakkumulation, idet disse materialer virker som varместødpude. I visse tilfælde kan porøse materials evne til at optage fugt dog få en ugunstig virkning på luftfugtigheden, se figur 18.

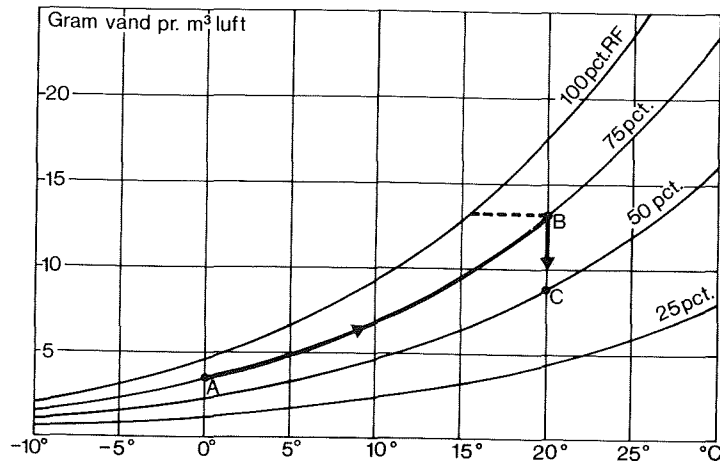


Figur 17. Udtørring af vådt materiale. I første fase sker der en kraftig fordampning fra overfladen. På et tidspunkt er de yderste lag i materialet tørret så meget, at vand ikke længere trækkes frem til overfladen ved kapillarsugning. I anden fase er fordampningen langsom, da vandet skal diffundere ud gennem materialets porer i form af vanddamp.



Figur 18. Træ som fugtstødpude. I et koldt sommerhus vil træværket om vinteren måske have optaget 15 pct. vand, svarende til 75 pct. RF i rumluften (A). Varmes huset nu op til 20 °C, vil luftens fugtindhold stige fra 4 til 13 g vand pr. m³, idet træet vil søge at opretholde 75 pct. RF i rumluften (B). En så høj relativ fugtighed om vinteren vil give kondens på vinduer etc., da dugpunktet er omkring 15 °C. Fordampningen fra træet vil nu fortsætte, indtil træværket er tørret ned til 10 pct. vandindhold. Da der frigives en meget stor vandmængde ved træets udtørring, kan der gå flere uger, før den endelige ligevægtstilstand indtræder. Der må altså luftes kraftigt ud ved et vinterbesøg i sommerhuset.

I vanddampdiagrammet herunder er vist, hvorledes rumluftens temperatur og fugtighed ændres under sommerhusets opvarmning.

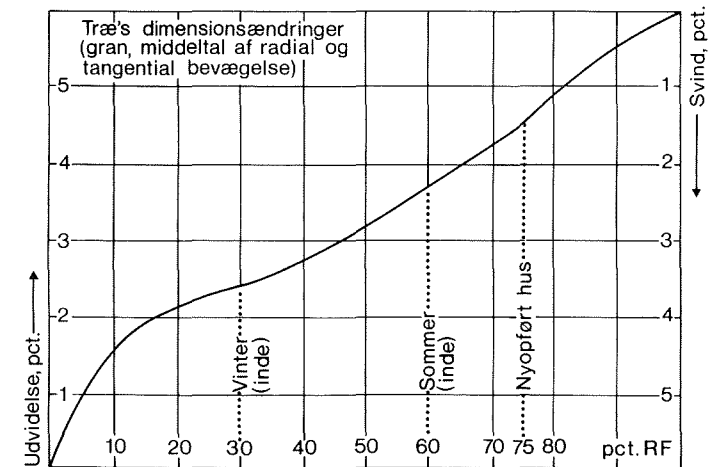


Krumning af træbjælker

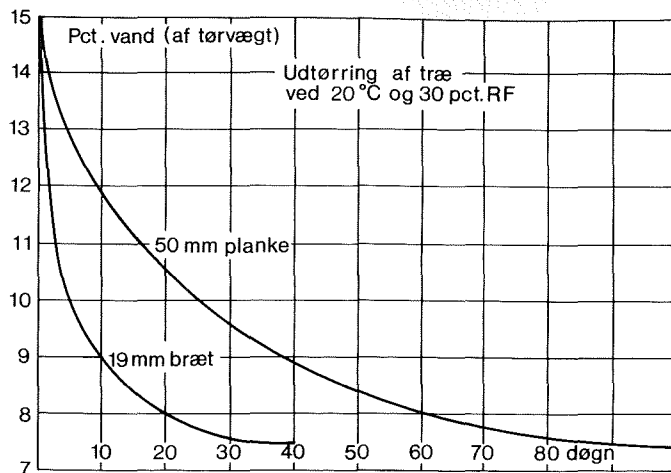
Dimensionsændringer af træ

Svingninger i træets vandindhold bevirker, at det svinder eller udvider sig mærkbart. En forandring af vandindholdet fra 8 pct. om vinteren (rumluft med 30 pct. RF) til 12 pct. om sommeren (rumluft med 60 pct. RF) medfører dimensionsændringer på omkring 1 pct. i tværetningen for gran. Træ i et nyopført hus kan ændre dimension betydeligt kraftigere, hvis det bringes ind i huset, inden dette er lukket og rimeligt tørt. Se figur 19.

Gulv- og tagbjælker af træ kan krumme som følge af forskel i fugtindhold i over- og underside af bjælkerne. Krumning forekommer først og fremmest, når bjælkerne er omgivet af isoleringsmateriale i hele bjælkehøjden og under vinterforhold. Den kolde del af bjælkerne vil få et vandindhold på ca. 15 pct., svarende til ligevægt med udeluftens RF, og den varme del vil få et vandindhold på ca. 10 pct., svarende til lige-



Figur 19. Dimensionsændringer af træ som følge af varierende luftfugtighed. Det samlede svind fra frisk træ til stuetørt træ er 3-4 pct. for gran. De årlige variationer fra sommer til vinter er ca. 1 pct. af bredden. Våd træ kan ret hurtigt tørres ned til et vandindhold på 30 pct. Denne første udtørring kræver store mængder frisk luft og den sker som regel inden huset er lukket. Udtørring til ligevægt kan for bjælker tage omkring et år, og uheldigvis er det netop under sidste del af udtørringen, at træet svinder mest. Et gulv på bjælker er ofte sunket 5-10 mm, når huset er et år gammelt.



Figur 20. Udtørningsforløb for træ. Udtørningshastigheden afhænger meget af træets dimensioner. Af de to kurver fremgår, at et bræt nærmer sig fugtligevægt i løbet af et par uger, men at en planke skal have et par måneder for at nå samme tilstand. Gulvbrædder og træ til inventar leveres tørret ned til det endelige fugtindhold. Men hvis f.eks. et trægulv lægges, inden huset er rimeligt tørt, kan man risikere, at træet fugtes op og udvider sig så stærkt, at gulvet buler op eller deformeres på anden måde.

vægt med RF inde ved damppærren. Som et eksempel kan nævnes, at en tagbjælke med spændvidde 4 m og bjælkehøjde 200 mm vil kunne få en krumning opad på ca. 15 mm. Bjælker over kryberum vil krumme nedad. Sådanne fugtbetingede krumninger vil kunne undgås, hvis bjælkerne ligger helt på den ene eller den anden side af det varmeisolerende lag.

Også i konstruktioner med vægstolper af træ og med træbaseret plademateriale kan der opstå krumning som følge af forskel i fugtindholdet på de to sider.

Diffusion

Vanddampmolekyler bevæger sig frit i luften og har en tendens til at fordele sig jævnt, således at der er lige meget vanddamp pr. m³ overalt. Dette foregår, selv om luften står stille, og det foregår også i den luft, som befinder sig inde i materialets porer. Denne form for dampvandring kaldes diffusion. Diffusionen er langsommere i materialer end i fri luft.

Vanddampgennemtrængelighed

Gennemtrængelighed for vanddamp varierer meget fra materiale til materiale. I tabellen på næste side er værdien angivet for en række byggematerialer.

I SI-systemet angives et materiales vanddampgennemtrængelighed – også kaldet diffusionstallet – som det antal kg vanddamp, der pr. sekund passerer 1 m² af materialet i en given tykkelse, når forskellen i vanddamppartialtrykket på de to sider af materialet er 1 pascal (Pa). Enheden bliver således:

$$\frac{\text{kg/m}^2\text{s}}{\text{Pa}}$$

Vanddampgennemtrængelighed kan også udtrykkes som det antal gram vanddamp, der pr. time passerer 1 m² af materialet i en given tykkelse, når forskellen i vanddampkoncentration i luften på de to sider af materialet er 1 g/m³. Herved fås enheden:

$$\frac{\text{g/m}^2\text{h}}{\text{g/m}^3} \quad \left(\text{med samme værdi som den tidligere enhed } \frac{\text{g/m}^2\text{h}}{\text{mmHg}} \right)$$

Vanddampmodstand

Ved fugttekniske beregninger benyttes som regel materialets vanddampmodstand – også kaldet diffusionsmodstandstal. Værdien for denne størrelse, som er den reciprokke af vanddampgennemtrængeligheden, angives for en række byggematerialer i tabellen på næste side.

I SI-systemet er enheden for vanddampmodstand:

$$\frac{\text{Pa}}{\text{kg/m}^2\text{s}}$$

For at opnå håndterlige størrelser anvendes ofte præfixet G (giga) = 10⁹, hvorved enheden bliver:

$$\frac{\text{GPa}}{\text{kg/m}^2\text{s}}$$

Vanddampmodstand udtrykt med denne enhed kaldes materialets *Z-værdi*.

På basis af forskel i vanddampkoncentrationen (gram vand pr. m³ luft) og et tidsforløb på 1 time fås følgende enhed for vanddampmodstand:

$$\frac{\text{g/m}^3}{\text{g/m}^2\text{h}} \quad \left(\text{med samme værdi som den tidligere enhed } \frac{\text{mmHg}}{\text{g/m}^2\text{h}} \right)$$

Vanddampmodstand udtrykt med denne enhed har igen mange år været kaldt materialets *PAM-værdi*.

Byggemateriale	Tykkelse mm	Vanddamp- gennemtrængelighed		Vanddamp- modstand	
		SI-enheds kg/m ² s	g/m ² h	SI-enheds GPa	g/m ³
		Pa	g/m ³	kg/m ² s	g/m ² h
				Z-værdi	PAM- værdi
Uimprægneret pap	1	10 · 10 ⁻⁹	5	0,1	0,2
Kalkmørtel	10	2 · 10 ⁻⁹	1	0,5	1
Gipsplade	13	2 · 10 ⁻⁹	1	0,5	1
Stillestående luft	100	2 · 10 ⁻⁹	0,9	0,5	1
Mineraluld, let	100	2 · 10 ⁻⁹	0,9	0,5	1
KC-mørtel	10	1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Træfiberplade, halvård	10	1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Tæppe med latexbagside		1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Letklinkerbeton	100	1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Porebeton	100	0,7 · 10 ⁻⁹	0,3	1,5	3
Træfiberplade, hård	3,5	0,7 · 10 ⁻⁹	0,3	1,5	3
Asbestcementplade	5	0,7 · 10 ⁻⁹	0,3	1,5	3
Mineraluld, tung	100	0,7 · 10 ⁻⁹	0,3	1,5	3
Træfiberplade, asfaltimprægneret	13	0,7 · 10 ⁻⁹	0,3	1,5	3
Spånplade	13	0,4 · 10 ⁻⁹	0,2	2,5	5
Træ	10	0,2 · 10 ⁻⁹	0,1	5	10
Tegl	100	0,2 · 10 ⁻⁹	0,1	5	10
Kalksandsten	100	0,1 · 10 ⁻⁹	0,05	10	20
Linoleum		0,04 · 10 ⁻⁹	0,02	25	50
Vindtæt asfaltpap		0,04 · 10 ⁻⁹	0,02	25	50
Skumplast, polystyren	100	0,04 · 10 ⁻⁹	0,02	25	50
Beton	100	0,02 · 10 ⁻⁹	0,01	50	100
Vinylgulvbelægning		0,01 · 10 ⁻⁹	0,005	100	200
Polyethylenfolie	0,1	0,004 · 10 ⁻⁹	0,002	250	500
Polyvinyliden fugtspærre	2 strygn.	0,004 · 10 ⁻⁹	0,002	250	500
Tagpap		0,002 · 10 ⁻⁹	0,001	500	1000
Specialmembraner		0,0002 · 10 ⁻⁹	0,0001	5000	10000
Metal, glas		0	0	∞	∞
Maling mv.:					
Kalkning		2 · 10 ⁻⁹	1	0,5	1
Olieemulsionsmaling		2 · 10 ⁻⁹	1	0,5	1
Cementpulvermaling		2 · 10 ⁻⁹	1	0,5	1
Silikatmaling		1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Kunstgummifacadmaling		1 · 10 ⁻⁹	0,5	1	2
Plastmaling		0,4 · 10 ⁻⁹	0,2	2,5	5
Alkydoliemaling		0,06 · 10 ⁻⁹	0,03	15	30
Chlorkautchukmaling		0,02 · 10 ⁻⁹	0,01	50	100
Polyurethanlak		0,02 · 10 ⁻⁹	0,01	50	100

Vanddampgennemtrængelighed og vanddampmodstand for byggematerialer. Mange materials vanddampmodstand er mindre, jo større den relative luftfugtighed er. For materialer, som normalt anvendes udendørs, er der derfor i tabellen angivet tal svarende til en høj RF, og for indendørs benyttede materialer er der angivet tal svarende til 50 pct. RF. Mere nøjagtige værdier for bestemte fabrikater må søges hos producenter eller forhandlere.

Eksempel på beregning af vanddampdiffusion

Hvor stor en mængde vand transporteres om vinteren pr. døgn gennem ydervæggene i et enfamiliehus?

Huset forudsættes at have 100 m² ydervæg, og fugttransporten ønskes beregnet for ydervægge som hulmur af teglsten, henholdsvis som let konstruktion med dampspærre af plastfolie.

I tabellen på forrige side findes følgende værdier for vanddampgennemtrængelighed:

$$100 \text{ mm tegl: } 0,1 \frac{\text{g/m}^2\text{h}}{\text{g/m}^3}$$

$$0,1 \text{ mm plastfolie: } 0,002 \frac{\text{g/m}^2\text{h}}{\text{g/m}^3}$$

For hulmuren bliver vanddampgennemtrængeligheden:

$$200 \text{ mm tegl: } 0,05 \frac{\text{g/m}^2\text{h}}{\text{g/m}^3}$$

Det antages, at luftens vanddampindhold er 5 g/m³ ude og 10 g/m³ inde i huset. Fugttransporten pr. døgn gennem 100 m² ydervæg bliver i de to tilfælde:

$$\begin{aligned} \text{med teglsten } & 0,05 (10-5) 100 \cdot 24 : 1000 = 0,6 \text{ kg/døgn} \\ \text{med plastfolie } & 0,002 (10-5) 100 \cdot 24 : 1000 = 0,024 \text{ kg/døgn} \end{aligned}$$

Sammenlignet med de 10–15 kg vand pr. døgn, som normalt antages at fordampe i en bolig, er det altså kun en forsvinden del, der vil kunne trænge ud gennem ydervæggene.

Dampspærre

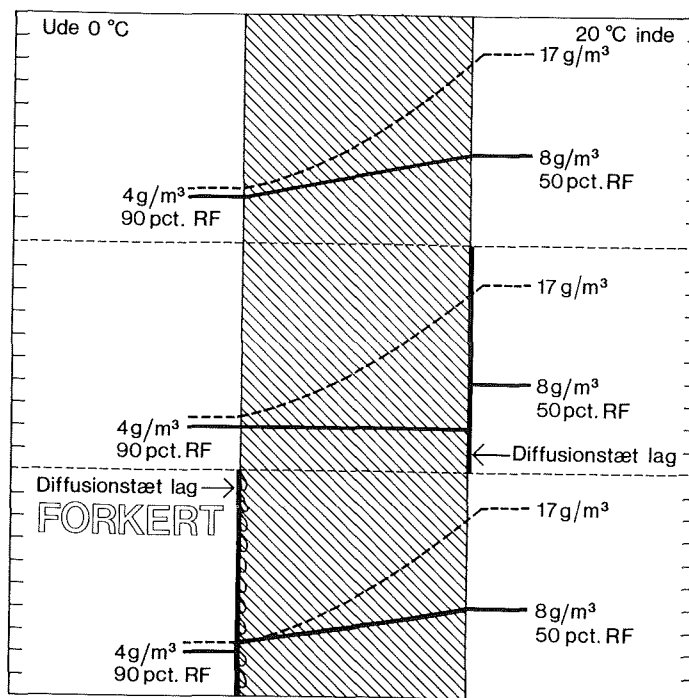
Ordene dampspærre og fugtspærre anvendes ofte som synonym. I denne anvisning benyttes dampspærre til at betegne en folie eller pap, som udover at forhindre diffusion også skal være lufttæt, dvs. at samlingerne mellem banerne ikke må tillade luftgennemstrømning. Fugtspærre benyttes til at betegne et lag, som udover at forhindre diffusion også skal sikre mod fugttransport ved kapillarvirkning.

Fugtspærre

Kondensation som følge af diffusion

I opvarmede bygninger er luftens vanddampindhold næsten altid større end udeluftens. Vanddampen i rumluften vil derfor søge at diffundere ud gennem de omgivende konstruktioner. Herved afkøles den, og den kondenserer, hvis den møder materialer, hvis temperatur er lavere end dugpunktet for luften det pågældende sted. Kondensationen er kraftigere, jo koldere det er udendørs.

Hvis et tag eller en ydervæg har mere diffusionstætte lag udvendigt end indvendigt, opstår der kondensation om vinteren, se figur 21 nederst. Rumluftens vanddamp diffunderer ind i konstruktionen, men bremses ved det udvendige, tætte lag, hvor temperaturen er lav. Kondensation undgås bedst ved at gøre den indvendige side mere diffusionstæt end den udvendige. For lagdelte konstruktioner, f.eks. pladebeklædte skeletvægge, gælder at den indvendige beklædning bør være mindst ti gange så diffusionstæt som den udvendige, dvs. at vanddampmodstanden skal være ti gange så stor indvendigt som udvendigt.



Figur 21. Diffusion af vanddamp gennem ydervæg. Vanddampindholdet er sat til 4 g pr. m³ (90 pct. RF) i det fri og 8 g pr. m³ (50 pct. RF) i rumluften. Med punkteret linie er vist det maksimale vanddampindhold ved de herskende temperaturer.

- Isoleret ydervæg uden diffusionstæt lag. Fri diffusion.
- Diffusionstæt lag på indersiden bremser vanddampen.
- Forkert konstruktion. Diffusionstæt lag på den kolde yderside bremser vanddampen. Der sker kondensation i væggen, som her ved skades af fugt, og isoleringen forringes.

Fugtmåling

Ønsket om at måle fugt opstår, når man på forhånd vil sikre sig mod fugtskader i konstruktioner og materialer, eller når man vil kontrollere fugtforholdene, efter at en skade er opstået.

Ofte kan problemet imidlertid bedømmes, uden at man foretager en eksakt måling. Optræder der f.eks. kondensvand på vinduesruderne i en bygning, er det som regel uden videre klart, at luftfugtigheden er for høj, og at problemet sandsynligvis vil kunne løses ved bedre udluftning og eventuelt ved opvarmning.

Fugtskader konstateres ofte ved, at der optræder fugtskjolder eller mug, og heller ikke i sådanne tilfælde er det nødvendigt at foretage egentlige fugtmålinger. Ofte kan fugten direkte ses og føles, eller dens virkninger er så synlige, at der kan træffes de fornødne forholdsregler, uden at fugtforholdene først undersøges ved måling.

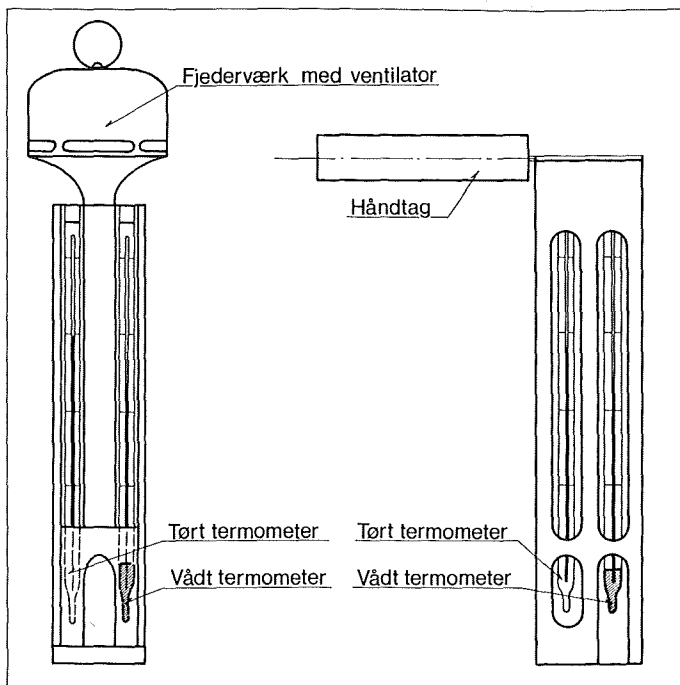
Fugtmåling består normalt i måling af luftens relative fugtighed eller måling af fugt i byggematerialer.

Måling af relativ luftfugtighed

Relativ luftfugtighed kan måles med aspirationspsykrometer, slyngpsykrometer, hårhygrometer eller forskellige elektriske måleinstrumenter.

Et aspirationspsykrometer (Assman psykrometer) består af to ens termometre, hver anbragt i et poleret metalrør til strålingsbeskyttelse, og af en lille ventilator, der kan trække en veldefineret luftstrøm forbi termometrene. Det ene termometer er forsynet med en bomuldsstrømpe, der holdes fugtig med destilleret vand. Det våde termometer vil indstille sig på en værdi lavere end det tørre, fordi vandet fordampes, forbruger fordampningsvarme og derfor afkøler termometret. Forskellen mellem temperaturerne på de to termometre har en nøje sammenhæng med luftens relative fugtighed, der kan findes i

Aspirations-
psykrometer



Figur 22. Aspirationspsykrometret til venstre anvendes til bestemmelse af luftens relative fugtighed. Når forskellen mellem den tørre og den våde temperatur er målt på de to termometre, aflæses på en tabel den tilhørende relative fugtighed. Den fjederdrevne ventilator foroven sikrer, at luften passerer forbi følerne med en bestemt hastighed.

Slyngpsykrometret til højre bruges efter samme princip til bestemmelse af luftens relative fugtighed, men luftens passage forbi følerne sker ved at hele psykrometret ligesom en skralde svinges rundt om håndtagets akse.

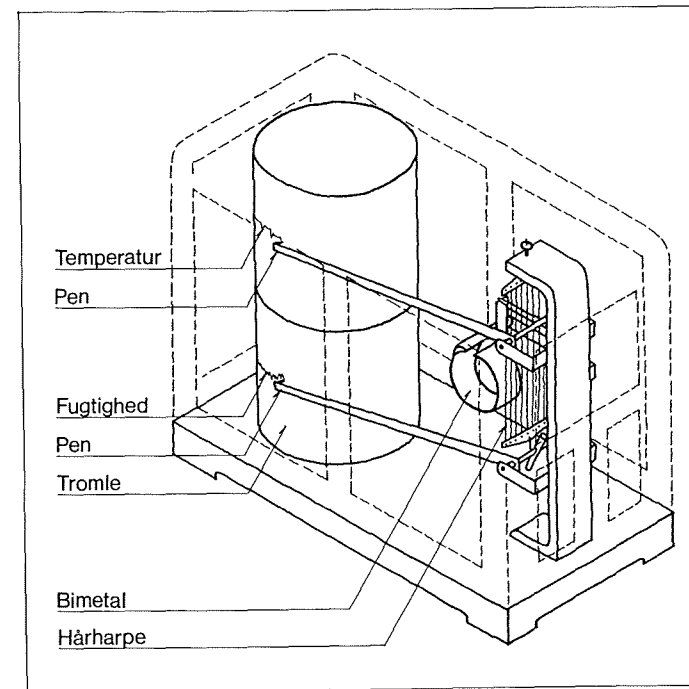
en tabel med de to målte temperaturer som indgang. Indstillingstiden for de to termometre er nogle minutter. Aspirationspsykrometret kan ved korrekt brug give en ret nøjagtig måling.

Slyngpsykrometer

Slyngpsykrometret fungerer efter samme princip som aspirationspsykrometret, blot fremkommer luftstrømmen forbi termometrene ved, at termometrene er anbragt i en holder, som svinges rundt i luften.

Hårhygrometer

Et hårhygrometer bygger på det princip, at hår ændrer længde afhængigt af den omgivende lufts relative fugtighed. I



Figur 23. Termohygrografen registrerer både luftens temperatur og fugtighed. En hårharpe forandrer længde som følge af ændringer i luftens relative fugtighed og bringer derved en pen i bevægelse hen over en langsomt roterende tromle, hvorpå der er fastspændt et diagramblad. Temperaturen registreres via en pen, som aktiveres af en bimetalføler, der ændrer form som følge af forandringer i lufttemperaturen.

Hygrograf

Termohygrograf

hygrometret omsættes en hårharpes længdevariationer til en viser, som på en skala direkte angiver den relative luftfugtighed. I en hygrograf er viseren erstattet af en pen, som på papir registrerer variationerne i luftfugtigheden over en periode. I termohygrografen er hygrografen sammenbygget med en termograf, som registrerer temperatursvingningerne over perioden.

Ved lave luftfugtigheder, mindre end 40 pct., forlænger hårene sig, når de som i hygrografen er udsat for træk, så det er nødvendigt at aflaste hårene, når instrumentet ikke er i brug. Længdeændringen forsvinder dog, når hårene i nogle timer har været holdt fugtige, f.eks. ved at pakke instrumentet ind i

Elektriske
luftfugtigheds-
målere

våde klude eller pensle hårene med destilleret vand. Denne regenerering skal foretages hyppigt. Regenerering kan også ske ved at placere apparatet udendørs under tag.

Elektriske luftfugtighedsmålere fungerer efter forskellige principper, og ofte indgår et stærkt fugtsugende salt (lithiumchlorid). Instrumentet er følsomt over for vandpåvirkning og tåler ikke hurtig overgang fra kulde til varme, idet kondensvand bringer føleren ud af justering, så saltet må fornyes eller instrumentet justeres.

Måling af fugt i byggematerialer

Måling af vandindhold i byggematerialer kan ske efter vejetørre-metoden, med et elektrisk måleinstrument, med en karbidmåler eller ved hjælp af RF-måling.

Veje-tørre-
metoden

Veje-tørre-metoden er den klassiske målemetode til bestemmelse af materialers fugtindhold. En prøve af materialet vejes, hvorefter det tørres ved 105 °C. Bagefter vejes prøven igen, og vægttabet er lig med det oprindelige vandindhold. Metoden forudsætter anvendelse af en præcisionsvægt. Materialeprøver kan transporteres til laboratorium i forseglede plasticposer (polyethylen).

Elektrisk
træfugtigheds-
måler

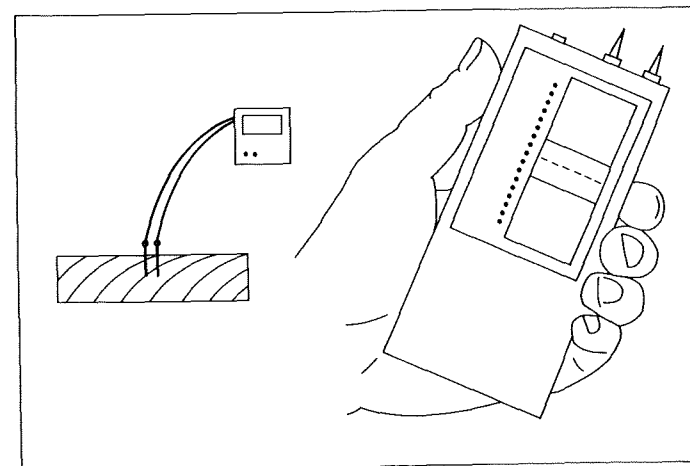
En elektrisk træfugtighedsmåler måler den elektriske modstand i træet, idet denne modstand er afhængig af træets vandindhold. Apparatet har to stifter, som stikkes ind i træet – eventuelt kan stifterne være fast monteret i en trækonstruktion. Metoden er rimelig nøjagtig, hvis vandindholdet er mindre end 30 pct.

Fugtindikator

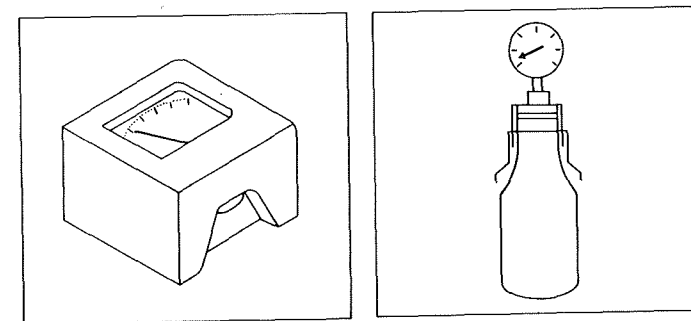
En fugtindikator er et lille apparat, som placeres direkte på den beton- eller træflade, f.eks. et gulv, der skal undersøges. Apparatet måler elektrisk kapacitet som udtryk for, om materialet er tørt eller fugtigt. Det er kun velegnet til at kortlægge omfanget af en fugtskade ved at måle på forskellige områder af en overflade.

Karbidmåler

En karbidmåler består af en lille trykflaske og et manometer, og den benyttes normalt kun til at måle vandindhold i beton. Den betonprøve, der skal undersøges, pulveriseres, afvejes og anbringes i trykflasken. Der tilsættes karbid, som reagerer med prøvens vandindhold under dannelse af luftarten acetylen. Trykket aflæst på manometret er et mål for prøvens vandindhold. Metoden er besværlig og ikke særlig nøjagtig.



Figur 24. Elektriske træfugtighedsmålere. De to følere stikkes ind i træet, og den elektriske modstand mellem spidserne måles og omsættes, så træfugtigheden kan aflæses direkte.



Figur 25, til venstre. Fugtindikator. Apparatet placeres på den beton- eller træflade, der skal undersøges. Apparatet måler den elektriske kapacitet som et udtryk for materialets fugtindhold.

Figur 26, til højre. Karbidmåler. I den lille trykbeholder placeres en afvejet betonmængde, og der tilsættes karbid, som reagerer med betonprøvens vand. Ved reaktionen dannes luftarten acetylen, og det tryk, der kan aflæses på trykflaskens manometer, er et mål for betonprøvens vandindhold.

Bestemmelse af materialers vandindhold kan også ske ved hjælp af RF-måling, idet ligevægtskurver (sorptionkurver) giver sammenhængen mellem et materiales vandindhold og den relative luftfugtighed i materialets porer.

Borer man et hul i f.eks. en betonplade og stikker føleren fra en elektrisk RF-måler ned i hullet og lukker tæt til, vil luften i hullet i løbet af kort tid være i fugtligevægt med det omgivende materiale. Instrumentet vil da vise den relative luftfugtighed i materialets porer.

Ud fra den målte relative luftfugtighed kan man på ligevægtskurven aflæse materialets vandindhold. Men i virkeligheden er det ikke nødvendigt at kende vandindholdet i vægtprocent. I de fleste tilfælde vil det være mere nyttigt at kende den relative luftfugtighed i materialets porer som aflæst på RF-måleren.

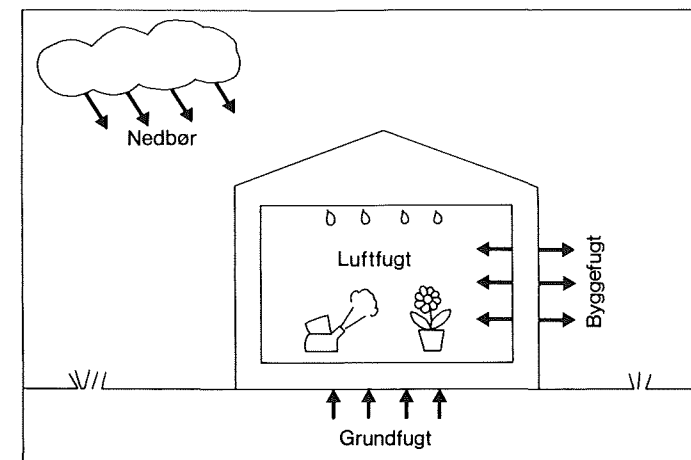
I eksemplet med betonpladen drejer det sig måske om at afgøre, om betonen er tør nok til, at der kan lægges gulv. Og det er den, hvis den relative luftfugtighed i betonen ikke overskrider en vis grænse, f.eks. 90 pct. RF.

Fugt i bygninger

En bygning kan få tilført fugt ad forskellige veje:

- grundfugt, der kan trænge ind i kældervægge, kældergulve og fundamenter, og som også kan suges op i bygningsdelene over terrænen,
- nedbør, der kan trænge ind i tag og ydervægge, men som også kan sive ind i tilstødende bygningsdele,
- luftfugt, der fra indeluften kan trænge ud i vægge og lofter og eventuelt medføre kondensdannelse,
- byggefugt, der kan være tilført under byggeriet, og
- fugt fra installationer på grund af utætheder i afløbssystem, vandforsyningsanlæg eller varmeanlæg.

Anvisningen beskriver i de efterfølgende seks kapitler, hvordan bygningens enkelte dele påvirkes af fugt, og giver eksempler på udførelser, der kan sikre imod, at fugtskader eller forringet varmeisolering opstår som følge af grundfugt, nedbør, byggefugt og luftfugt.



Figur 27. Anvisningen beskriver, hvordan bygningsdele kan udføres, så der opnås sikkerhed mod skader fra grundfugt, nedbør, byggefugt og luftfugt. Forholdsregler mod utætte installationer og deraf følgende vandskader behandles ikke.

Grundfugt

En bygning kan være kraftigt påvirket af fugt i grunden, ikke blot som følge af en høj grundvandsstand, men også fordi der siver nedbør fra terrænoverfladen ned mod grundvandet. Alt efter grundens beskaffenhed og evne til at lede vandet igennem kan der i kortere eller længere tid stemmes vand op mod bygningens konstruktioner under terræn.

Fugten i grunden varierer med årstiden inden for det enkelte år, men også fra år til år som følge af særligt tørre eller særligt fugtige år. Efter et år med usædvanlig stor nedbør – og derfor hævet grundvandsspejl i forhold til normalen – kan der opstå fugtproblemer i kældre, der ikke tidligere har haft fugtproblemer. Også ændringer i terrænforholdene, f.eks. opfyldning på nærliggende arealer, kan være årsag til fugt i hidtil tørre kældre.

Indtrængen af fugt fra grunden modvirkes ved at indlægge fugtstandsede lag mellem grund og bygningsdele samt kapillarbrydende drænlag under kældergulv og drænende lag med tilslutning til omfangsdrænen uden for kældervægge.

Nedbør

Der falder omkring 600 mm nedbør i gennemsnit om året her i landet, men ujævnt fordelt over årstiderne og også varierende fra år til år. For dimensioneringen af afløbsinstallationer er nedbørens intensitet, varighed og hyppighed bestemmende, og her kan der henvises til SBI-anvisning 96, *Afløbsinstallationer*.

For andre bygningsdele er nedbørens intensitet mv. imidlertid mindre betydende. I almindelighed forlanger man, at en ydervæg og et tag skal være ubetinget beskyttende mod nedbør.

I øvrigt skal udvendige bygningsdele på én gang yde beskyttelse mod påvirkninger af de fire V'er:

Vind – Vand – Varme – Vanddamp.

Hertil kommer krav om styrke, brandmodstand, lydisolering, bestandighed osv.

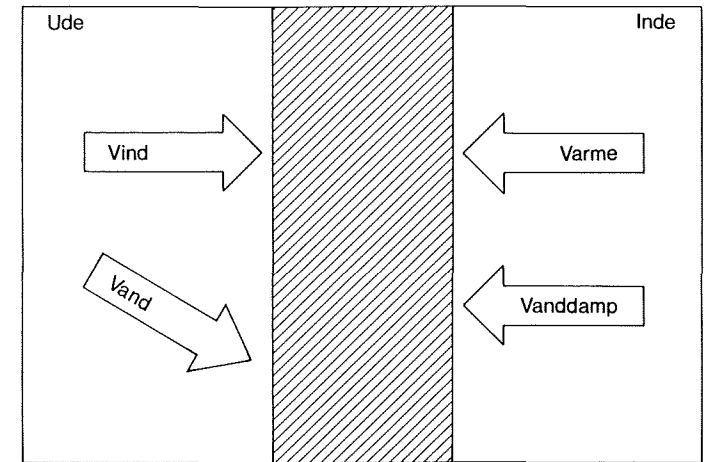
Opbygning af udvendige bygningsdele må derfor ske ud fra en hel række hensyn, hvoraf beskyttelse mod fugt fra nedbør

Nedsivende
overfladevand

Fugt i kældre

Dimensionering
af afløb

De fire V'er



Figur 28. En ydervæg og et tag påvirkes af de fire V'er: Vind – Vand – Varme – Vanddamp.

To-trins-
princippet

blot er et enkelt. Sammenfattende kan man sige, at indtrængen af fugt fra nedbør modvirkes ved brug af materialer, der kan tåle vand på den udvendige side, eller af vandtætte beklædninger med overlappende samlinger og inddækninger.

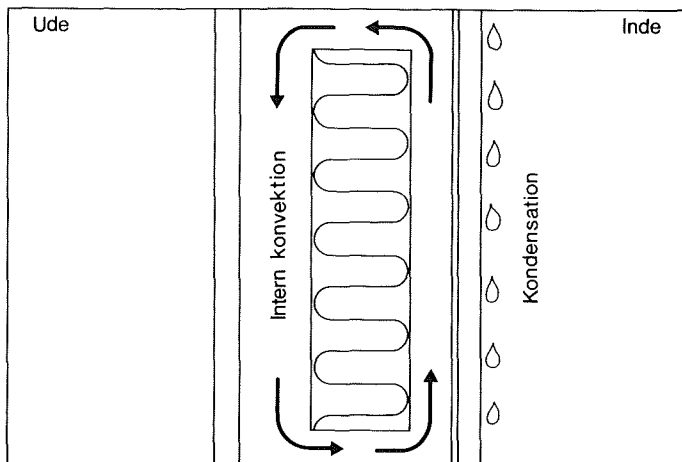
Ofte udføres ydervægskonstruktioner lagdelte efter to-trinsprincippet, idet den yderste del udgøres af to lag, en regnskærm og et vindstandsede lag.

Luffugt og kondensation

Kondensation kan ske ikke alene på indvendige, kølige overflader, men også inde i konstruktioner. Her kan kondensationen være særlig farlig, fordi den ikke kan konstateres umiddelbart, men måske først når der er sket skader. For at undgå kondensation inde i en varmesolert konstruktion er det ofte nødvendigt at anbringe en dampspærre på den varme side af konstruktionen.

En konstruktionsdel, som varmesolerer ringere end resten af konstruktionen, kaldes en kuldebro. Kuldebroer kan forårsage skader, selv om de ikke giver anledning til kondensation. Hvis en overflade er så kold, at dens temperatur kun ligger lidt over dugpunktet for den omgivende luft, vil luftens relative fugtighed nær ved denne overflade være høj på grund af af-

Kuldebroer



Figur 29. Hvis isoleringsmaterialet i en hul konstruktion ikke udfylder hele hulrummet, kan der optræde intern konvektion. Luft cirkulerer omkring isoleringen, afkøles ved konstruktionens forside og afkøles igen selv konstruktionens bagside – med eventuel kondensation til følge.

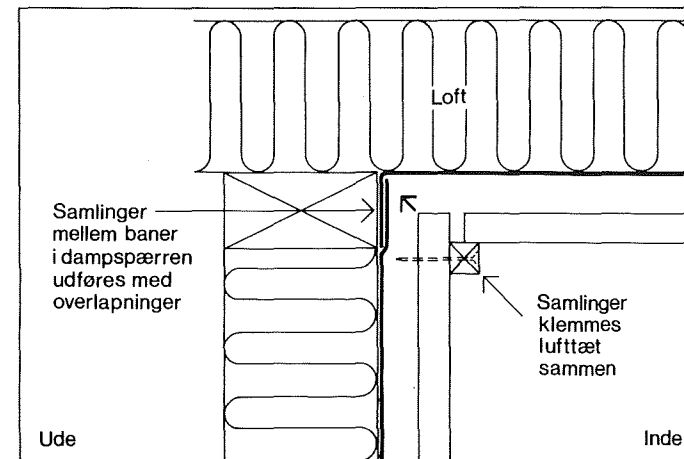
køling, hvilket kan give anledning til skimmelvækst eller støvansamlinger (sorte pletter) på overfladen.

Kuldebroer kan undgås, hvis varmeisoleringen danner et sammenhængende lag. Selv små sprækker i isoleringen kan forårsage kuldebroeffekt, og det er derfor væsentligt, at isoleringsmaterialerne stødes tæt sammen og pakkes tæt mod konstruktionerne. Eventuelt må isoleringsmaterialerne fastholdes, så de ikke i årenes løb synker sammen og giver sprækker.

Kuldebroer kan også opstå, hvor en konstruktion gennembyrdes punktvis af materialer med høj varmeledningsevne. Gennemføring af metalrør kan give anledning til kondensation, hvor de passerer en konstruktions varme side. Selv søm, som fastholder indvendig beklædning, kan virke som svage kuldebroer, så der sker støvansamling og misfarvning omkring sømhovederne.

I hule bygningsdele kan opstå konvektion, hvis varmeisoleringsmaterialet ikke er stødt tæt mod omgivende materialer. Dermed bliver varmeisoleringen nedsat, og den indvendige beklædning bliver koldere – der er skabt en kuldebro, hvor der kan ske kondensation. Se figur 29.

Intern konvektion



Figur 30. Lodret snit i hjørne mellem ydervæg og loft. Samlinger i dampspærren skal klemmes lufttæt sammen. Hvis dette ikke er muligt, må samlingerne klæbes eller svejses.

Indstrømning af fugtig luft i hule konstruktioner (fugtkonvektion)

Dampspærren skal være lufttæt

Mange alvorlige fugtskader skyldes, at varm, fugtig rumluft utilsigtet strømmer fra bygningen ind i hule konstruktioner, hvor der så sker kondensation på kolde flader. Problemet kendes især fra pladebeklædte vægge og tage. Det er vigtigt, at samlingerne mellem pladerne indbyrdes og mellem pladerne og deres underlag på isoleringens varme side udføres så lufttætte, at der ikke kan strømme varm, fugtig luft gennem sprækker ind i konstruktionen (fugtkonvektion).

Ved vægge og tage, hvor den indvendige beklædning udføres med dampspærre, bør dampspærren ikke blot være diffusionstæt, men også monteres lufttæt. Mange diffusionstætte materialer leveres i baner, men tætheden i selve materialet er ikke til megen nytte, hvis samlingerne mellem banerne ikke udføres lufttætte.

Løse overlappninger mellem baner er ikke tilstrækkelig lufttætte. Ved konvektion vil der strømme flere hundrede gange mere fugt gennem samlingerne, end der diffunderer gennem selve banematerialet. Samlinger skal være klemte – med lister eller af den indvendige beklædning – eller de skal være limede eller svejsede.

Det er også vigtigt, at dampspærren sluttes tæt til tilstødende bygningsdele. Eventuelt kan den føres ubrudt igennem fra én bygningsdel til en anden, f.eks. fra væg til loft.

Særlig omhu må udvises, hvor dampspærreer gennembyrdes af rør og lignende. El-installationer bør så vidt muligt ikke føres gennem dampspærreer.

Luftfugt og ventilation

En elementær foranstaltning til forebyggelse af fugtskader på grund af kondensation er sikring af et passende lavt vanddampindhold i rumluften gennem ventilation. Det nødvendige luftskifte afhænger af den aktuelle fugttilførsel, som det blev nævnt i anvisningens første kapitel.

Nogle huse er så utætte, at der altid kommer rigelig frisk, tør luft ind i rummene. Så er der ingen fugtproblemer, men til gengæld koster det varme, og som regel er der også trækgener. Nyere huse forsøger man at gøre tætte, og nogle gange lykkes det så godt, at der opstår alvorlige fugtproblemer, når kravet om en vis ventilation tilsidesættes.

Det ideelle er et tæt hus forsynet med de rigtige ventilationsåbninger, dvs. nogle åbninger, hvor luften kan komme ind, og andre åbninger, hvor luften kan komme ud, når den har optaget fugt.

Bygningsreglement 1982 stiller krav om naturligt aftræk eller mekanisk udsugning fra baderum og køkkener, men ventilationen af øvrige rum i beboelsesbygninger anses for tilgodeset, blot der er oplukkeligt vindue og en regulerbar ventil på mindst 30 cm² i vindue eller ydervæg. Det er tanken, at luften skal komme ind gennem ventilerne og ud gennem aftrækskanalerne.

Ventilation gennem vinduer er ingen særlig god løsning, specielt ikke om vinteren, idet der let opstår træk, og ventilationen er vanskelig at regulere med et vindue.

En bedre løsning er luftventiler, der kan indstilles og er placeret og udformet sådan, at de ikke giver træk. Dette kan opnås ved at rette luftstrømmen opad under loftet. Ventilerne skal åbnes og lukkes efter behov, således at man netop holder vinduesruderne dugfri om vinteren.

Det er som regel i soverum, der er problemer med dugdan-

Mekanisk ventilation

nelse, og her er det derfor særlig vigtigt, at der kan skaffes en effektiv og trækfri ventilation.

Mekanisk ventilation med indblæsning og udsugning af luft fritager for besvær med regulering af luftventiler. Denne form for mekanisk ventilation giver mulighed for varmegenvinding og eventuelt også opvarmning af den indblæste friskluft. Sådanne systemer har imidlertid kun mening i tætte huse, for utætheder vil jo blot resultere i unødigt ventilation og dermed en ekstra udgift til opvarmning af friskluft.

Til at holde en bolig tør ved udluftning medgår kun en beskedent mængde varme. 2-3 ekstra udluftninger dagligt, dvs. skiftning af luften 2-3 gange i døgnet bruger varme svarende til 100 l olie om året i en almindelig bolig. Det er dårlig økonomi at spare så meget på varmen, at der opstår fugtproblemer.

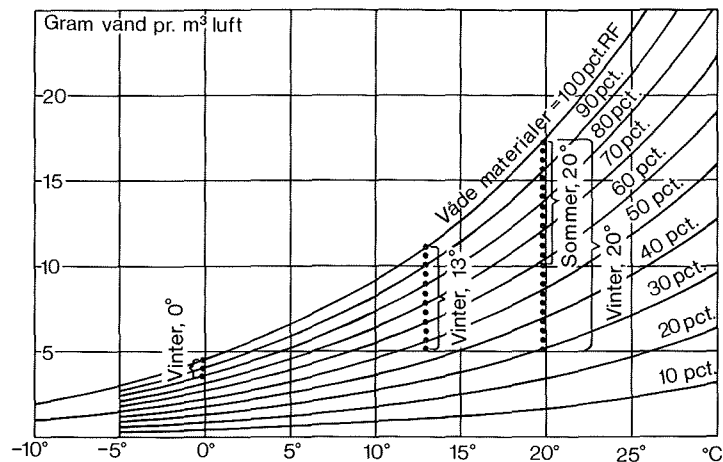
Udtørring af byggefugt

Store mængder vand kan være tilført en bygning i løbet af byggeprocessen. Denne byggefugt kan skyldes tilsætning af vand til mørtel og beton, levering af fugtige materialer til byggepladsen eller nedbør under byggeriet.

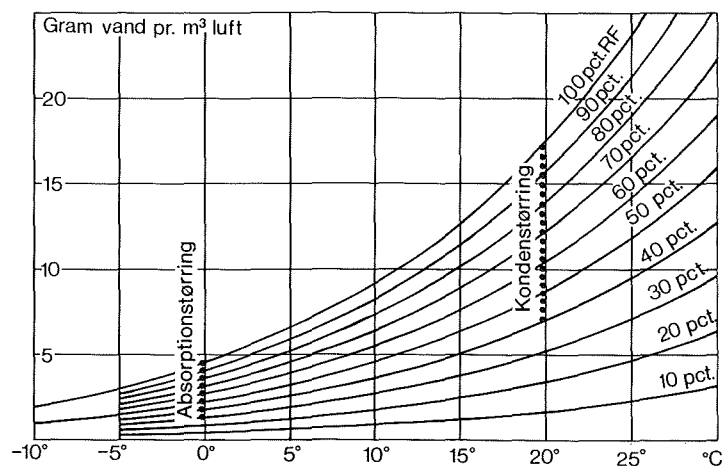
Udtørringshastigheden afhænger af, hvor stor forskel, der er mellem vanddampindholdet i luften inde i materialets porer og i den omgivende luft. I et fugtigt materiales porer er luftfugtigheden altid 100 pct. RF, svarende til den øverste kurve i vanddampdiagrammet. Når temperaturen forhøjes, vil vanddampindholdet i materialets porer vokse, og dermed vokser også forskellen mellem dette vanddampindhold og vanddampindholdet i den omgivende luft, forudsat at vanddampindholdet i rumluften holdes lavt ved at der udluftes.

Om sommeren kan der være en forskel mellem vanddampindholdet i et materiales porer og i rumluften på ca. 7 g pr. m³, men om vinteren bliver forskellen mindre end 1 g pr. m³, hvis rummet er uopvarmet. De bedste udtørringsforhold opnås, hvis der om vinteren opvarmes til mindst 20 °C, hvilket giver en forskel i vanddampindhold på omkring 13 g pr. m³. Se figur 31. For at få samme udtørrende effekt om vinteren som om sommeren er det kun nødvendigt at opvarme til ca. 13 °C. Samtidig med opvarmningen skal der ske en konstant udluftning.

Udtørring ved opvarmning og udluftning



Figur 31. Vanddampdiagrammet viser udtørningsmuligheder under sommer- og vinterforhold. Uden opvarmning vil udtørring om vinteren kun ske langsomt, men om sommeren væsentlig hurtigere. Den mest effektive udtørring om vinteren opnås ved opvarmning til 20 °C eller mere, og samtidig udluftning.



Figur 32. Vanddampdiagrammet viser udtørring ved de to metoder: kondensstørring, hvor vand udskilles i et køleanlæg med en kølekompressor, og absorptionstørring, hvor vand udskilles i et fugtabsorbende materiale. Den sidste metode er især egnet til brug om vinteren uden opvarmning.

Kondenstørring

Udtørring kan også ske ved kondensstørring, hvor rumluften sendes gennem et køleanlæg med en kølekompressor, der køler luften ned til nogle få grader over frysepunktet. Herved udskilles vand af luften. Luften varmes straks op igen ved at passere kondensatoren. Det er vigtigt, at bygningen holdes tæt lukket, idet man jo cirkulerer ret tør luft. Hvis luft kan trænge ind udefra, bruges der blot energi til at affugte udeluften i stedet for at udtørre bygningen. Denne metode er kun effektiv ved temperaturer på mindst 10–15 °C.

Absorptionsstørring

Ved en anden tørringsmetode – absorptionstørring – affugtes luften ved at blive blæst gennem et fugtabsorbende materiale i en rotor, hvor materialet regenereres med varmluft. Denne metode har den særlige fordel, at den kan anvendes ved lave temperaturer. Se figur 32.

Absorptionstørring anvendes f.eks. til at opretholde lav relativ luftfugtighed i uopvarmede lagerhaller, men kan også bruges til bygningsudtørring om vinteren uden opvarmning af bygningen. Absorptionstørring kræver også en tæt lukket bygning.

Fugt og kælder

Nystøbt kælder

I en nystøbt kælder vil der være store vandmængder i betonen, og hvis kælderen holdes tæt tillukket, vil luftfugtigheden blive 100 pct. RF. Det er derfor nødvendigt at udlufte kraftigt ved stadig gennemtræk – indtil kælderen er tør.

På længere sigt vil den relative luftfugtighed især afhænge af, om kælderen er opvarmet eller uopvarmet, og konstruktionerne må indrettes herefter. Man må dog være opmærksom på, at en kælder, der er beregnet til at være opvarmet, måske alligevel ikke opvarmes – selv ikke i vinterperioder.

Opvarmet kælder

I en uopvarmet kælder vil der om vinteren være en temperatur på omkring 10 °C, og da udeluften på denne årstid gennemsnitligt indeholder omkring 5 g vand pr. m³, vil den relative luftfugtighed være omkring 60 pct. i kælderen. Om sommeren vil temperaturen i den uopvarmede kælder være omkring 15 °C, men da udeluften nu i gennemsnit indeholder ca. 10 g vand pr. m³, vil den relative luftfugtighed i kælderen være omkring 80 pct.

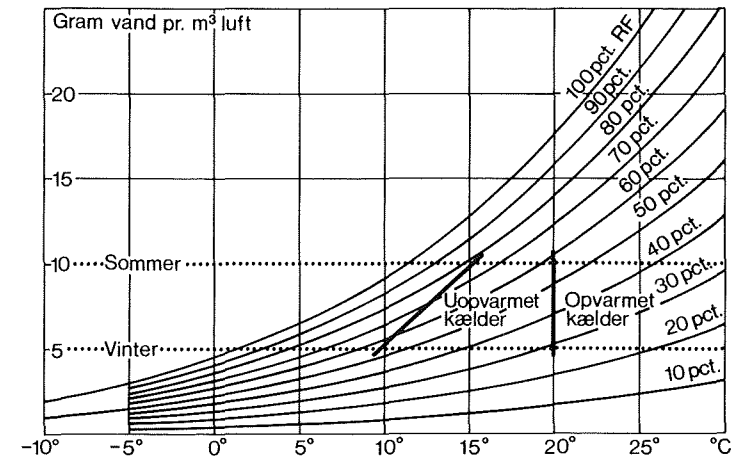
I særlig varme sommerperioder kan udeluftens fugtindhold stige til over 15 g vand pr. m³, hvilket svarer til en dugpunkttemperatur på over 17 °C. Der kan altså af og til forekomme kondensation på kældervægge og kældergulve i en uopvarmet og uisoleret kælder om sommeren.

Opvarmet kælder

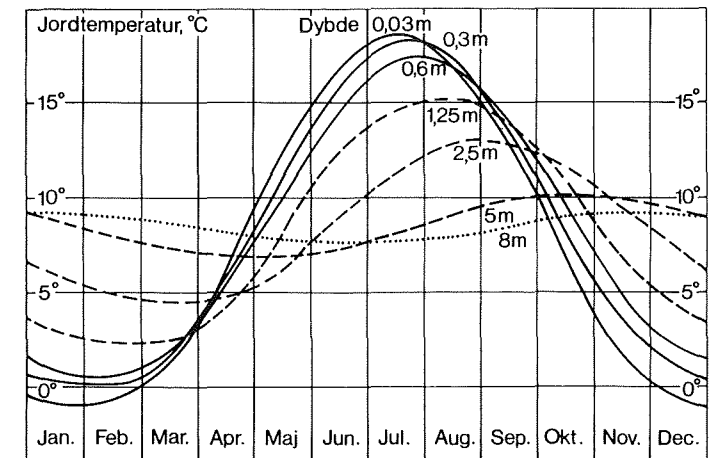
Opvarmes kælderen, vil den relative luftfugtighed være lavere. Opvarmning til f.eks. 20 °C vil give en luftfugtighed på omkring 60 pct. RF om sommeren og omkring 30 pct. RF om vinteren som i andre opvarmede rum. Selv en beskeden opvarmning af kælderen vil altså holde den mere tør.

Fugtig kælder

Alle de ovennævnte luftfugtigheder er kun gældende, hvis der ikke tilføres kælderen fugtighed ud over den fugt, der er indeholdt i udeluften. Anderledes stiller det sig, hvis der er tale om en »fugtig« kælder, altså en kælder, hvor gulv og vægge er mere eller mindre gennemtrængt af grundfugt på grund af mangelfuld dræning og fugtisolerings. Så er situationen den samme som i den nye kælder, og der må altså udluftes og måske også opvarmes for at holde kælderen tør.



Figur 33. Fugtforholdene i en kælder afhænger af årstiden, idet udeluften om vinteren indeholder omkring 5 g vand pr. m³, men om sommeren cirka den dobbelte mængde. Desuden er den relative luftfugtighed både vinter og sommer større i en uopvarmet end i en opvarmet kælder. De viste værdier forudsætter, at der ikke tilføres kælderen fugt fra grunden.



Figur 34. Jordtemperaturen gennem året i forskellig dybde. Mens døgnets svingninger i lufttemperaturen kun påvirker jordtemperaturen ned til knap 0,5 m's dybde, mærkes årstidsvariationen helt ned til en dybde på ca. 8 m, og i denne dybde er årstidsvariationen forsinket i et halvt år. I større dybde end ca. 8 m ligger jordtemperaturen konstant på 8 °C.

Om udluftning er tilstrækkeligt til at holde kælderen tør, afhænger naturligvis af, hvor hurtigt fugten tilføres. I mange kældre eksisterer der en hårfin balance mellem fugttilførsel og udluftning, men hindres udluftningen eller sænkes temperaturen, bliver balancen forrykket, og en tidligere tør kælder kan blive fugtig med deraf følgende skader. Det må derfor nøje overvejes, om isolering af en kedel i et kælderrum vil være rimelig set ud fra et fugtmæssigt synspunkt.

Diffusion

Uanset om en betonvæg eller et betongulv er »vandtæt« vil der ske en diffusion igennem betonen ved fordampningen af grundfugt. Dog vil der gennem et tørt gulv, udført med kapillarbrydende underlag, kun diffundere små fugtmængder. Fugten som følge af diffusion vil kunne fjernes ved et luftskifte på én gang i døgnet, og ren diffusion fra grundfugt gennem gulv kan ikke tilføre en kælder fugt, som skulle give problemer.

Terræn langs kælderydervægge

Terrænet langs kælderydervægge skal have fald bort fra bygningen, så overfladevandet kan ledes effektivt bort. På fladt terræn bør faldet være mindst 1:50. På skrånende terræn må der foretages terrænregulering på den side af bygningen, hvor terrænet er højest, og der bør etableres et afskærende dræn ved overgangen fra det naturlige terræn til det regulerede. Terrasser bør lægges med et fald på mindst 1:40, således at der stadig er fald bort fra bygningen, også efter eventuelle mindre sætninger.

Vægdræn og omfangsdræn

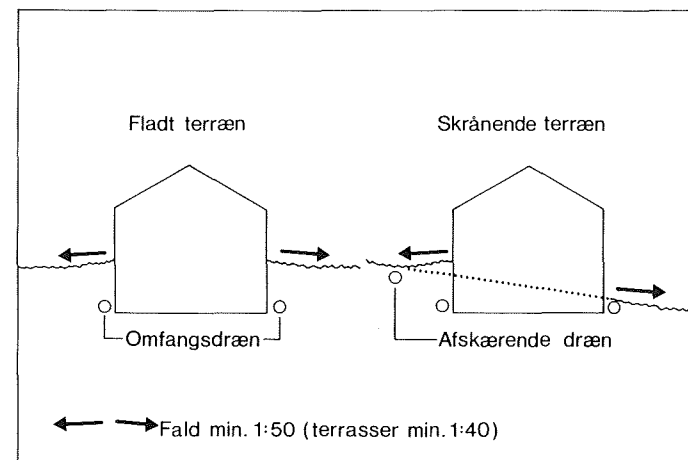
For at forhindre, at nedsivende vand lokalt skaber vandtryk mod kældervæggen, skal der udføres vægdræn enten ved at bruge drænende fyld, opstilling af drænblokke af f.eks. letklinkerbeton uden på kældervæggen, eller ved anvendelse af isoleringsmaterialer med drænende egenskaber. Vægdrænet skal have forbindelse til omfangsdræn.

Fugtisolering af kælderydervæg

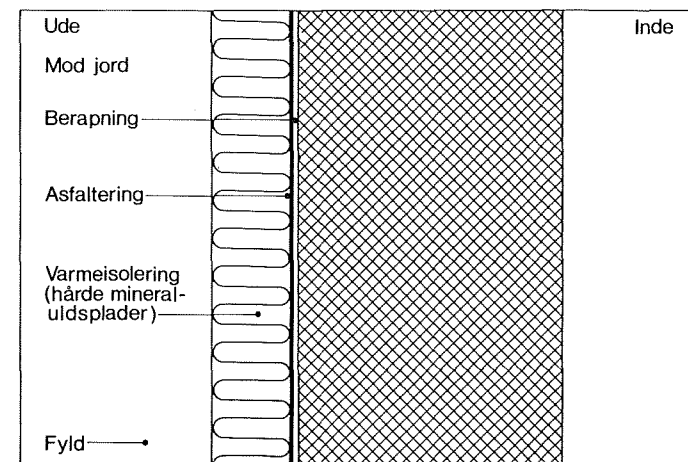
Opsugning af fugt i kælderydervæggen skal forhindres. Dette kan gøres enten ved to gange asfaltering eller med særlige tynde, hårde profilerede plastplader.

Asfaltering skal udføres på en afrettet eller berappet overflade. Asfalteringen skal beskyttes enten ved udkastning med cementmørtel 1:3, ved opstilling af de omtalte drænblokke eller ved udvendig varmesisolering.

Ved fugtisolering med plastplader skal disse opstilles med et stort overlæg.



Figur 35. Terrænregulering skal lede overfladevand bort fra bygningen. På fladt terræn skal faldet bort fra bygningen være mindst 1:50. På skrånende terræn må der terrænreguleres på den side af bygningen, hvor det oprindelige terræn er højest, og der bør udføres et afskærende dræn ved overgangen fra det oprindelige terræn til det regulerede.



Figur 36. Kælderydervæg støbt af beton. Væggen er behandlet udvendigt med berapning og derefter to gange asfaltering. Den udvendige varmesisolering af hårde mineraluldsplader er trykket fast i asfalten. Tilfyldningen foran væggen må, især når den foretages med maskine, ske forsigtigt, så isoleringspladerne ikke beskadiges.

Udvendig varmeisolering

Af hensyn til faren for, at fugt trænger ind gennem en kælderydervæg udefra, bør varmeisolering af væggen så vidt muligt udføres på den udvendige side. Varmeisoleringen foretages ved at opsætte trykfaste isoleringsplader direkte på det fugtisolierende lag. Isoleringsplader af mineraluld virker som vægdræn, idet de yderste millimeter af mineralulden leder vandet ned til omfangsdrænet. Bortset fra den nederste del af væggen er det i dette tilfælde ikke nødvendigt at udføre anden form for vægdræn, og der kan altså bruges almindeligt fyld. Tilfyldningen må foretages skånsomt, og især må det undgås at beskadige isoleringspladerne med sten.

Indvendig varmeisolering

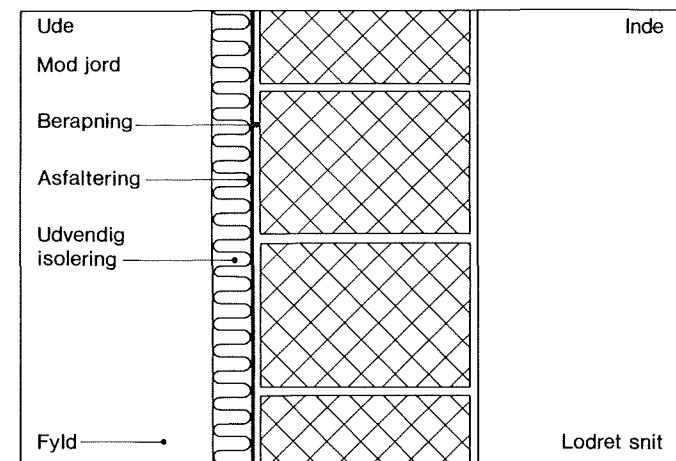
Hvis en væsentlig del af kælderydervæggen er over terræn, kan man af konstruktive og æstetiske grunde være tvunget til at varmeisolere på den indvendige side.

En form for indvendig varmeisolering, som i fugtmæssig henseende er problemfri men til gengæld pladskrævende, er en letbetonvæg opstillet et lille stykke fra kælderydervæggen og suppleret med mineraluld i mellemrummet.

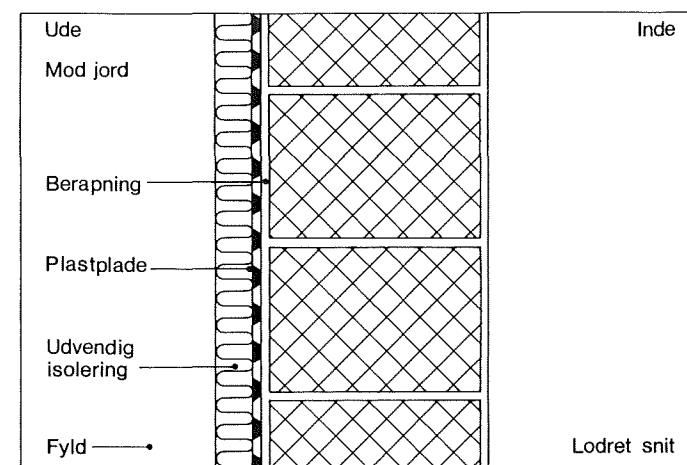
Ved indvendig varmeisolering med mineraluld anbragt i et pladebeklædt lægteskelet vil der være fare for, at trælægterne rådner på grund af udefra kommende fugt. Af hensyn til byggefugt må denne form for isolering først udføres, når væggen har tørret i mindst et år.

Anbringelse af mineraluld mellem trykimprægnerede trælægter fastgjort på kælderydervæggens indvendige side, og forsynet med en dampspærre, dvs. et luft- og diffusionstæt lag, under pladebeklædningen, er i øvrigt kun forsvarlig under to forudsætninger. For det første skal kældervæggen være tør som tegn på effektiv beskyttelse mod grundfugt. For det andet må der være sikkerhed for, at kælderrummet vil blive holdt konstant opvarmet i fyringssæsonen, så trælægterne bliver holdt tørre af varmen.

Hvis der blot er en lille risiko for, at fugt kan trænge ind gennem kældervæggen udefra, eller hvis kælderrummet blot i perioder står uopvarmet om vinteren, vil en udførelse som den ovennævnte medføre fare for dannelse af for stor fugtighed og dermed råd i lægterne. Under disse omstændigheder bør der på den del af kældervæggen, som er mere end 0,5 meter under terræn, ikke benyttes isolering med en tykkelse over 50 mm, og der må ikke anbringes dampspærre. Herved tillader man eventuel indtrængende fugt at fordampe ind i kælderen,



Figur 37. Kælderydervæg af blokke, f.eks. letklinkerbeton. Hvis kælderen skal være opvarmet, er blokkenes isoleringsevne utilstrækkelig, og der bør varmeisoleres yderligere, f.eks. med en 50 mm trykfast mineraluldsplade. Under denne isolering skal kældervæggen behandles med berapning og to gange asfaltering.



Figur 38. Kælderydervæg af blokke, fugtisoleret med hårde, profilerede plastplader, som skal opsættes med stort overlæg. Også her er blokkene berappet på siden mod jord, og desuden er der vist en ekstra udvendig varmeisolering svarende til forventet opvarmning af kælderen, idet selve blokkenes isoleringsevne da er utilstrækkelig.

Indvendig
fugtisolering

samtidig med at faren for kondensation på den nederste del af kældervæggen er ringe.

I vaske- og tørrekældre og andre rum med særlig stor fugtbelastning er opsætning af en dampspærre eller en vandtæt vægbeklædning påkrævet.

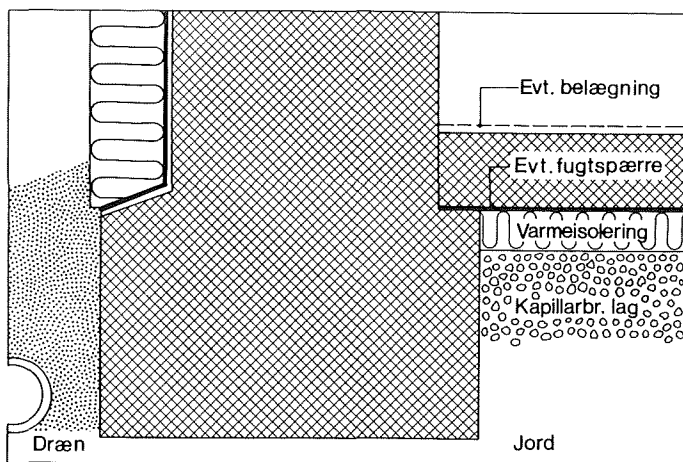
Efterisolering
af kældervæg

Ved indvendig efterisolering (mod varmetab) gælder de samme regler om isoleringstykkelse og placering af dampspærre som nævnt ovenfor. I øvrigt bør det altid undersøges, om det er teknisk og økonomisk muligt at grave op, tætnes og fugtisolere væggen udefra, og derefter anbringe varmeisoleringslaget udvendigt.

Kapillarbrydende
lag under
kældergulv

Under et kældergulv skal der udføres et kapillarbrydende lag, som forhindrer vandopsugning fra grunden. Laget skal have en tykkelse på mindst 150 mm og kan bestå af stenmateriale med en kornstørrelse på mindst 4 mm, hvilket med rimelig sikkerhed kan anses for tilstrækkeligt til at forhindre kapillarsugning, forudsat at stenene er vasket.

Også varmeisolerende materialer i form af hårde mineraluldsplader eller stive skumplastplader kan indgå i konstruktionen som kapillarbrydende lag. Sådanne materialer bør altid



Figur 39. Fundament under kælderydervæg. Omfangsdrænen er lagt over fundamentets bund. Der er anvendt drænende fyld ved fundamentet. Under gulvet ligger et kapillarbrydende lag og varmeisolering. Herover kan indlægges fugtspærre. Betonpladen skal være mindst 100 mm tyk og eventuelt have fordelingsarmering \varnothing 8 pr. 300 mm i begge retninger.

Eventuel
fugtspærre

anbringes oven på et afrettet drænlag. Endelig vil løse letklinker i en tykkelse på mindst 150 mm også kunne anvendes som kombineret kapillarbrydende og varmeisolerende lag.

Den mængde fugt fra grundvandet, som kan fordampe op gennem et korrekt udført kældergulv, er som nævnt ubetydelig og vil kunne fjernes ved et beskedent luftskifte.

En fugtspærre, dvs. et vand- og diffusionstæt lag, er derfor under normale omstændigheder unødvendig. Men i tilfælde, hvor der er risiko for, at grundvandet i visse perioder kan nå op i højde med kældergulvet, eller hvis der er tvivl om det kapillarbrydende lags effektivitet, bør der imidlertid indføres et fugtstandsende lag under betonpladen, idet opsugt fugt kan tilføre kælderstore mængder vanddamp.

Varmeisolering vil i øvrigt medvirke til, at grundvandets temperatur nær kældergulvet holdes nede. Herved begrænses fordampningen fra grundvandet, og faren for fugtgener mindskes.

Om gulvbelægning med trægulv på strøer henvises til omtalen i kapitlet om fugt og terrændæk.

Fugt og krybekældre

Betegnelserne krybekælder og kryberum anvendes for lave, tilgængelige hulrum mellem terræn og stueetagens gulv. Men også i tilfælde, hvor disse hulrum er så lave, at de ikke er tilgængelige vil man i almindelighed se dem omtalt som kryberum.

Krybekælder – en hensigtsmæssig konstruktion

En krybekælder med mulighed for inspektion er en hensigtsmæssig konstruktion, fordi eventuelle brud på vand- og varmerør i dæk eller krybekælder let lokaliseres og repareres. Endvidere er der mindre risiko for vandskader og bedre mulighed for udtørring end ved terrændæk.

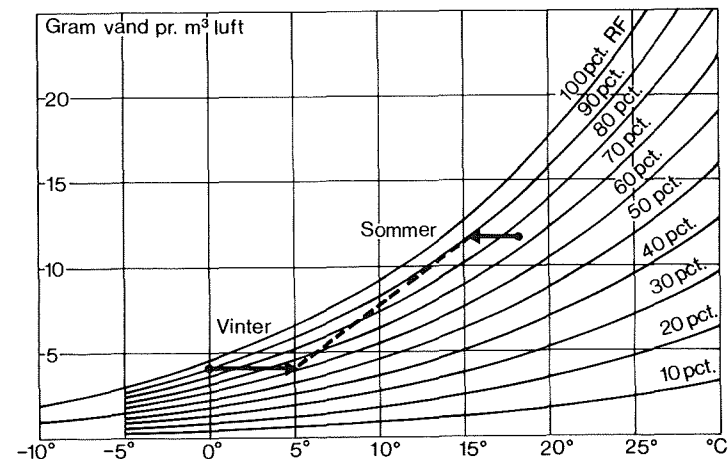
Men øget isoleringstykkelse i krybekælderdek medfører højere relativ luftfugtighed end tidligere, og dermed risiko for fugtgener og råd i forbindelse med træbjælkelag. Fordampning af jordfugt fra krybekælderbunden samt indtrængning af overfladevand må derfor forhindres.

Luftfugtighed

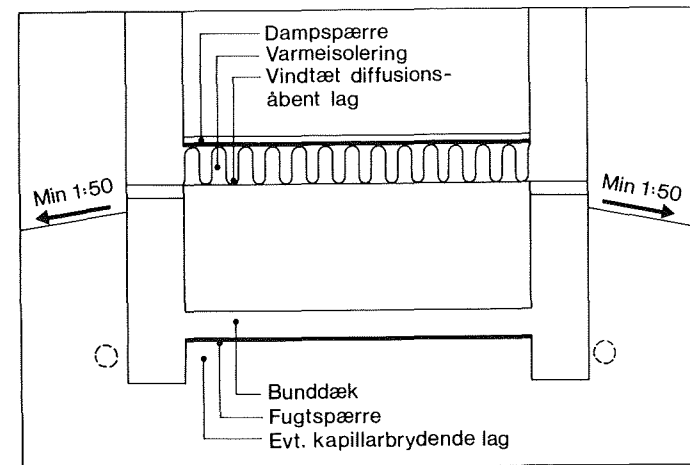
I en ikke udluftet krybekælder med tilførsel af fugt fra grunden er luftfugtigheden hele året nær 100 pct. RF. Hvis vandfordampningen nedsættes ved f.eks. at anbringe en fugtspærre i krybekælderens bund, og der samtidig ventileres med udeluft, vil luftfugtigheden være lavere og i øvrigt variere med årstiden og udeklimaet. I den koldeste måned er temperaturen i krybekælderens omkring 5 °C, og da udeluften gennemsnitligt indeholder ca. 4 g vand pr. m³, vil luftfugtigheden være ca. 60 pct. RF. I den varmeste måned er temperaturen i krybekælderens omkring 15 °C, og da udeluften nu i gennemsnit indeholder ca. 12 g vand pr. m³, vil luftfugtigheden være ca. 90 pct. RF. På meget varme og fugtige sommerdage kan luftfugtigheden i krybekælderens endda stige yderligere, da temperaturændringer kun slår langsomt igennem i et rum med vægge mod jord.

Terræn ud for krybekælder

Terrænet ud for krybekælderens skal have fald bort fra bygningen, så overfladevand ledes væk. Ventilationsåbninger i krybekældervægge skal have underkant i en højde af mindst 10 cm over terræn. Eventuelt må der udføres omfangsdræning



Figur 40. Fugtforholdene i en udluftet krybekælder uden fugttilførsel fra grunden. Om vinteren er temperaturen omkring 5 °C, altså højere end ude, og den relative luftfugtighed er ca. 60 pct. Om sommeren er temperaturen i krybekælderens omkring 15 °C, altså lavere end ude. Den relative luftfugtighed vil da være ca. 90 pct., og af og til endnu højere.



Figur 41. Terrænet skal have fald bort fra bygningen. Jorden under krybekælderens bund skal renses for muld og organiske materialer, som kan give lugtgener. Eventuelt må der udføres dræning, så nedsvivende overfladevand ledes bort. Bunden udføres med et lag sand eller beton over en fugtspærre og herunder eventuelt et kapillarbrydende lag.

Beskyttelse
mod fordampning
af jordfugt

for at sikre, at der ikke kan trænge vand ind i krybekælderen gennem bund og vægge.

Det er nødvendigt at træffe foranstaltninger mod fordampning af jordfugt – især hvis krybekælderdekkeet udføres som træbjælkelag. På velegnet, tørt terræn kan et 80 mm tykt betonlag i krybekælderens bund være nok til at standse opstigende jordfugt. Det giver dog altid større sikkerhed at afdække grunden med en fugtspærre, f.eks. en 0,15 mm polyethylenfolie, eventuelt over et kapillarbrydende lag.

Fugtspærren skal have fald mod krybekælderens ydervægge, og den bør stoppe 20–30 mm fra væggene, så eventuelt indstrømmet vand kan sive væk. Fugtspærren skal holdes på plads af et lag sand eller – hvis krybekælderen tænkes benyttet til opbevaring – af et lag beton.

Ventilation

Foruden at være beskyttet mod jordfugt skal en krybekælder være udluftet til det fri gennem jævnt fordelte ventilationsåbninger i ydervæggene. Hvis krybekælderdekkeet er udført som træbjælkelag, skal der i hver ydervæg være mindst én åbning samt yderligere mindst én for hver seks meter væglængde. I kryberum med dæk af beton eller letbeton kan antallet af ventilationsåbninger halveres i forhold til det ovennævnte. Der skal dog være mindst én åbning nær ved hvert udadgående hjørne.

Skillevægge i kryberum skal forsynes med åbninger i mindst samme størrelse og antal som ydervægge. For at rummet skal kunne inspiceres, må der være så store åbninger, at alle dele af krybekælderen er tilgængelige.

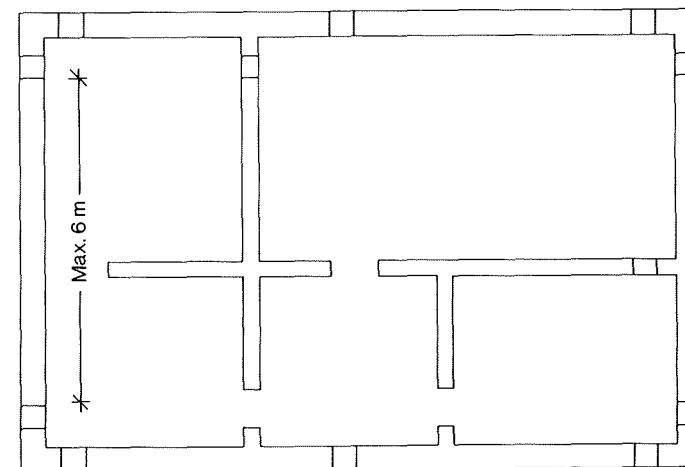
Ventilationsåbningerne skal have et frit areal på mindst 150 cm² og være forsynet med riste eller lignende. Hvis det er nødvendigt at »knække« ventilationsåbningerne, fordi stueetagens gulv ligger lavt i forhold til terræn, se figur 43, skal ventilationsåbningernes samlede areal øges med 50 pct.

Inspektion og
reparation

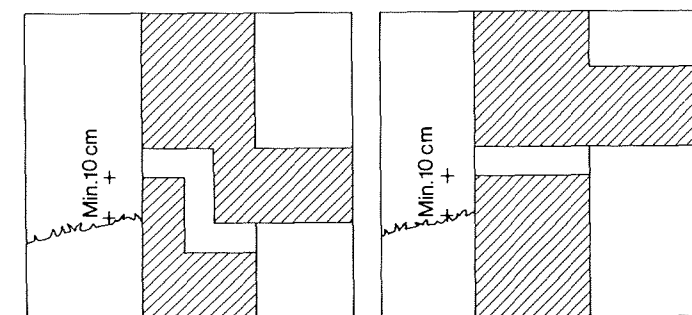
Hvis der i krybekælderen skal kunne foretages inspektion af installationer og andre bygningsdele samt udføres reparationer og ændringer ved blandt andet varmeanlægget, må der være adgang hertil gennem en lem inde fra bygningen eller fra det fri. Den frie højde i kryberummene bør være mindst 0,6 m og hellere 0,8 m, for at passage under rør og kanaler kan ske nogenlunde bekvemt.

Krybekælderdekke
under vådrum

Også under vådrum, dvs. baderum, wc-rum med gulvafløb og lignende rum, kan krybekælderdekkeet udføres som træbjæl-



Figur 42. I en krybekælder under træbjælkelag skal der være mindst én ventilationsåbning for hver 6 meter ydervæg, og hver åbning skal være mindst 150 cm². Åbningerne skal anbringes, så der ikke opstår »lommer« med stillestående luft. For at krybekælderen skal kunne inspiceres, skal åbningerne i de indvendige vægge tillade en person at passere igennem.



Figur 43. Ventilationsåbningerne i krybekælderen skal have underkanten mindst 10 cm over terræn. Med en vandret kanal kan oversiden af stuegulvet derfor komme til at ligge ret højt over terræn. Gulvhøjden kan sænkes, hvis ventilationsåbningerne »knækkes«, men åbningernes tværsnit eller antal bør så forøges med mindst 50 pct.

kelag, men kun på betingelse af, at det sker i overensstemmelse med de fremgangsmåder, som er beskrevet i SBI-anvisning 109, *Bygningers vådrum; Gulve på træbjælkelag og beklædninger på skeletvægge*. I denne anvisning gives blandt andet retningslinjer for lægning af undergulv, udførelse af svejsefuger ved PVC-gulvbelægning og udførelse af særlige vandtætte lag. Det forudsættes, at den frie højde under et træbjælkelag er mindst 0,6 m samt at der er adgang for inspektion.

Den lave temperatur i vinterhalvåret i ventilerede kryberum gør det nødvendigt at varmeisolere krybekælderdekke. Dets k-værdi må ikke overstige 0,30. Men det er også vigtigt, at rør fra varmeanlæg og varmtvandsanlæg, som føres frem i krybekælder, isoleres særlig godt. Af energimæssige grunde bør varmerør dog helst placeres på den varme side af krybekælderdekkes varmeisolering. I træbjælkelag kan der udskæres for varmerør i overkant af bjælker i op til 0,5 m fra ydervæggen og maksimalt $\frac{1}{3}$ af bjælkehøjden. Men også ved denne placering skal varmerørene isoleres, blandt andet for at beskytte gulvet mod kraftig varmepåvirkning.

Afløbsledninger og koldtvarsdrør må frostsikres med varmeisolering. Hvis disse rør føres for tæt ved ventilationsåbninger, øges risikoen for frysninger.

En højere temperatur i krybekælder om vinteren vil kunne opnås ved at varmeisolere ydervægge og bund i krybekælder og samtidig reducere såvel varmeisolationen i krybekælderdekke som krybekælderens ventilation.

Da der ved en varmeisoleret krybekælder kan være risiko for kondensation om sommeren på krybekælderens bund, bør beslutning om en sådan løsning først ske efter en nøjere varme- og fugt teknisk analyse af projektet. Ved udlægning af varmeisolering på bunden af krybekælder skal der sikres mod vandindtrængen ved omhyggelig dræning omkring huset.

Efterisolering ved anbringelse af et lag varmeisolering på undersiden af krybekælderdekke giver sjældent fugtproblemer, blot isoleringsmaterialets underside er diffusionsåben. Det er vigtigt at forbedre vindtætheden langs væggene, f.eks. med fugemasse. Hvis der anvendes en vindtæt plade under isoleringen, bør der samtidig lægges en dampspærre over isoleringen.

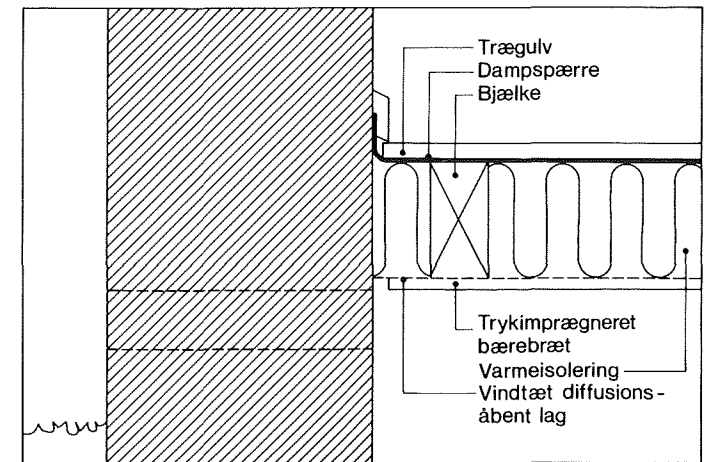
Isoleringslaget bør så vidt muligt føres under eventuelle var-

Varmeisolering af varmerør

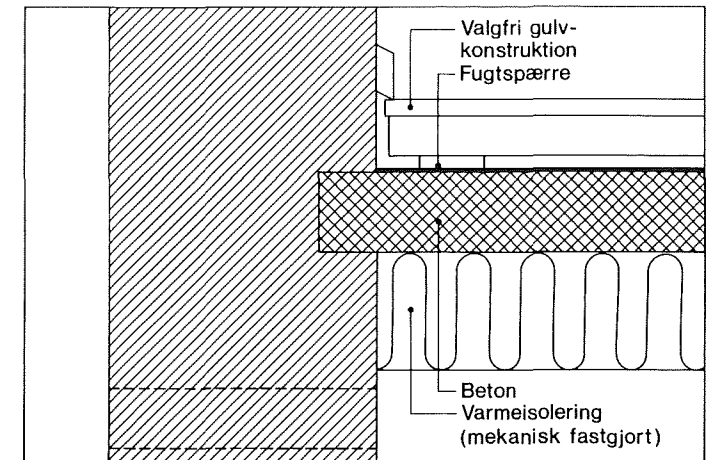
Frostsikring

Varmeisoleret krybekælder

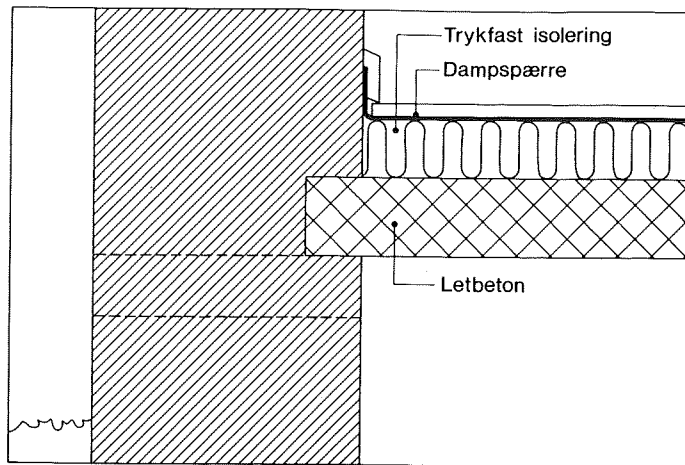
Efterisolering af krybekælder



Figur 44. Træbjælkelag over krybekælder. Den nødvendige k-værdi på højst 0,30 forudsætter en varmeisolering med ca. 150 mm mineraluld. Konstruktionen bør være vindtæt. En dampspærre lige under gulvbrædderne, klemt mod ydervæggen, sikrer mod kondensation på oversiden af det vindtætte lag. Bjælkelagets underste del bør imprægneres mod svampeangreb.



Figur 45. Beton- eller letbetondæk over krybekælder. Et trægulv må beskyttes mod byggefugt ved udlægning af en plastfolie under gulvet. Varmeisoleringen kan placeres som vist her på undersiden af dækket, fastgjort mekanisk. Ved letbetondæk kan $\frac{1}{2}$ af isoleringen (ved betondæk højst $\frac{1}{3}$) lægges oven på dækket over plastfolien. Se også figur 46.



Figur 46. Beton- eller letbetondæk over krybekælder. Varmeisoleringen er i dette eksempel vist oven på dækket, og en dampspærre må da placeres oven på isoleringen. Isoleringen må være trykfast, da den skal bære den svømmende gulvkonstruktion. På grund af byggefugt fra dækket må isoleringen ikke indeholde træ eller andet fugtfølsomt materiale.

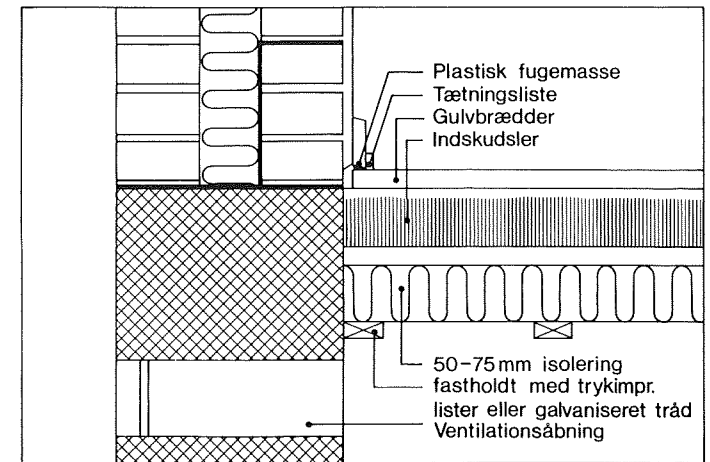
merør, så varmen kommer huset til gode. Ellers må rørene omgives med mindst 50 mm isolering. Koldtvarsdrør og afløbsledninger bør frostsikres.

Er krybekælderens bund fugtig, udlægges der plastfolie, og man må sikre sig, at ventilationen er i orden.

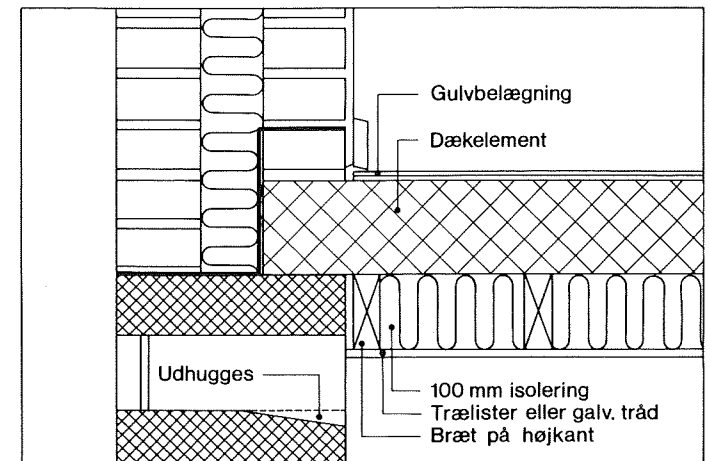
Isolering af krybekælderens vægge og bund kan være et alternativ, men det forudsætter en tør bund i krybekælderen samt - hvis der er tale om træbjælkelag - kontrol med fugttilstanden i tiden efter udførelsen.

Hvis hulrum under træbjælkelag er utilgængelige, kan der i visse tilfælde blæses isoleringsmateriale her ind i. Afstanden mellem bjælker og bund skal være mindst 200 mm. Krybekælderens bund skal ligge højt i terrænet, således at der ikke er risiko for oversvømmelse. Indblæsning oven på indskudslister i et træbjælkelag over kryberum eller utilgængeligt hulrum forudsætter en rimelig damp-tæt gulvbelægning, f.eks. linoleum eller PVC, for at hindre kondensation nede i konstruktionen.

Indblæsning af isolering



Figur 47. Efterisolering af træbjælkelag over krybekælder. Der er her vist lerindskud på brædder midt i bjælkelaget, og et isoleringslag er indlagt på imprægnerede lister, sømmet på bjælkeundersiden. Hvis isoleringslaget må placeres helt under bjælkelaget, kan det være nødvendigt at hugge ventilationsåbningernes bund skrå på den indvendige side.



Figur 48. Efterisolering af beton- eller letbetondæk over krybekælder. Der er her vist brædder opsat på højkant under dækket, og isoleringen mellem brædderne er holdt på plads med trælistor. Hvis isoleringslaget kommer til at dække for ventilationsåbningerne i ydervæggene, må åbningernes bund hugges skrå på den indvendige side.

Fugt og terrændæk

Terrændæk –
en sårbar
konstruktion

Terrændæk stiller meget store krav til en korrekt byggeteknisk konstruktion og til den håndværksmæssige udførelse. Når der i de senere år er konstateret skader i forbindelse med terrændæk, skyldes det dels manglende forståelse for de byggetekniske forhold og dels svigt i den håndværksmæssige udførelse. Mange af fugtskaderne er opstået i forbindelse med rørinstallationer i terrændæk.

Fugtskader

En del af skaderne skyldes, at varme fra rør får betonfugt til at fordampe for derefter at kondensere på koldere steder, men de mest omfattende skader skyldes dog utætte installationer, f.eks. utætte loddesamlinger eller korrosion. Andre skader hidrører fra grundfugt og fra forkert placering af dampspærre i forbindelse med kraftig isolering.

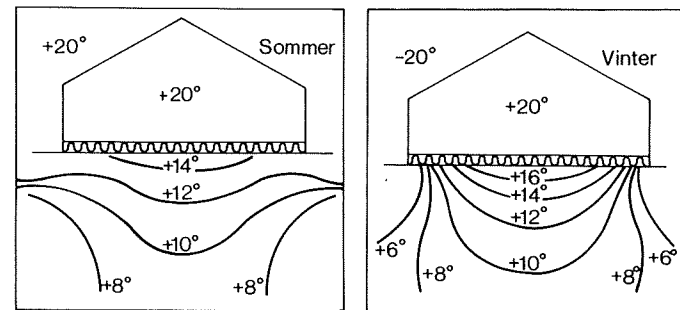
Gulvbelægning
afgørende for
terrændækkets
konstruktion

Gulvbelægningens art er afgørende for terrændækkets konstruktion, herunder for nødvendigheden af at indlægge en fugtspærre og for dennes placering.

Trægulv på strøer

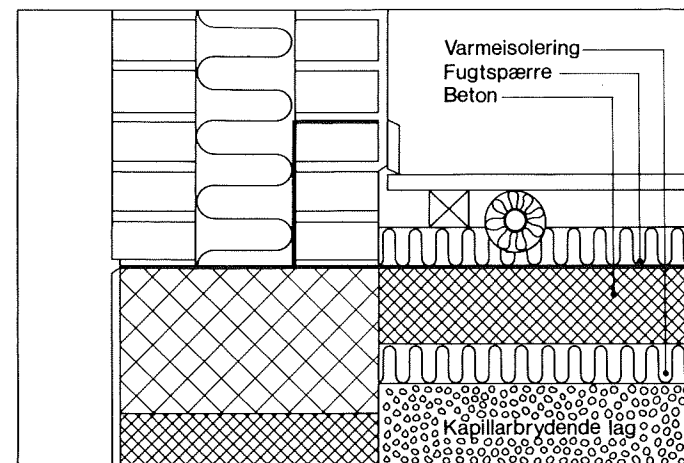
Et trægulv på strøer kan f.eks. udføres som vist på figur 50. Følgende forhold skal tages i betragtning for at hindre fugtskader:

1. Jordfugt skal hindres i at blive suget op. Dette kan opnås ved hjælp af et kapillarbrydende lag.
2. Byggefugt fra betonpladen skal hindres i at nå trægulvet ved fordampning eller op sugning. Dette kan opnås ved en fugtspærre, anbragt oven på betonen.
3. Kondensation af rumluftens vanddamp på oversiden af en fugtspærre skal hindres. Dette kan opnås ved at placere mindst halvdelen af isoleringen under betonen, således at betonpladen bliver så varm, at kondensation undgås.
4. Kuldebroer ved sokkel skal reduceres mest muligt, f.eks. ved opbygning af fundamentets øverste del i letklinkerbetonblokke.



Figur 49. Temperaturforholdene i jorden under en bygning med terrændæk. Til venstre jordtemperaturer om sommeren, til højre om vinteren ved en opvarmet bygning. Terrændæk i bygninger med rum, som opvarmes til almindelig stuetemperatur, skal varmesoleres, så k-værdien ikke overstiger 0,30.

Ofte isoleres sommerhuse og lignende bygninger på tilsvarende måde af hensyn til periodevis beboelse i vinterhalvåret, men uanset isoleringen bør der her aldrig anvendes diffusionstæt gulvbelægning. Se også figur 53.



Figur 50. Trægulv på strøer på terrændæk. Jordfugt skal standses med et kapillarbrydende lag. Byggefugt fra betonpladen skal standses med en fugtspærre oven på betonen. Kondensation af rumluftens vanddamp på oversiden af fugtspærren hindres ved at placere mindst halvdelen af varmesoleringen under betonpladen.

Isolering under beton

5. Varmør skal isoleres selvstændigt, og de bør klodses så meget op, at de kommer på den varme side af isoleringen på dækket.

6. Hvis der anvendes en tæt belægning på trægulvet, må der være udluftning ved fodlisterne, således at trægulvet kan indstille sig i fugtligevægt med rumluften.

Figur 51 viser to eksempler på placering af varmeisoleringen under betonpladen i terrændækket. For at undgå fugtskader skal især to forhold her tages i betragtning:

– Opsugning af jordfugt skal hindres ved et kapillarbrydende lag under isoleringen.

– Placeringen af varmeisoleringen under betonen bevirker, at der er temperaturfald fra betonplade til jord, således at betonfugt fordampes fra betonens underside og kondenserer nede i jorden. Denne udtørring nedad må helst ikke hindres ved at lægge en fugtspærre under betonen. Hvis der er risiko for, at jorden bliver varmere end betonpladen, f.eks. ved varmekanaler under gulvet, må der alligevel lægges en fugtspærre under betonen, men der må da til gengæld regnes med en forlænget udtørringstid, hvilket kan være af betydning ved anvendelse af fugtfølsomme gulvbelægninger.

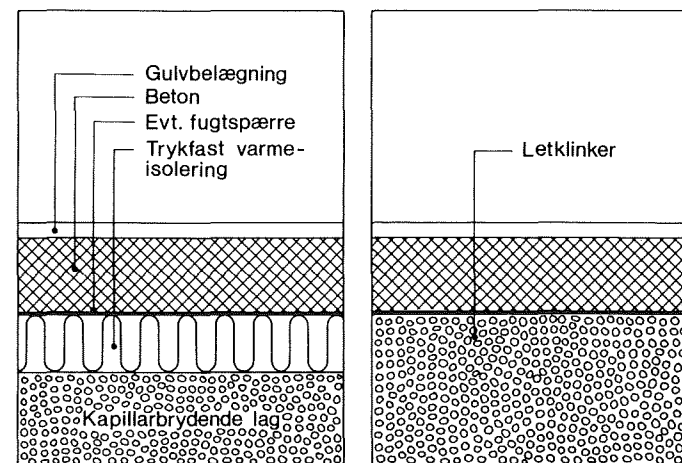
Kapillarbrydende lag

Et kapillarbrydende lag skal være mindst 150 mm tykt og kan f.eks. bestå af ral eller singels. Stenmaterialer i denne tykkelse og med en kornstørrelse på mindst 4 mm anses normalt at kunne forhindre kapillarsugning, forudsat at stenene er vasket.

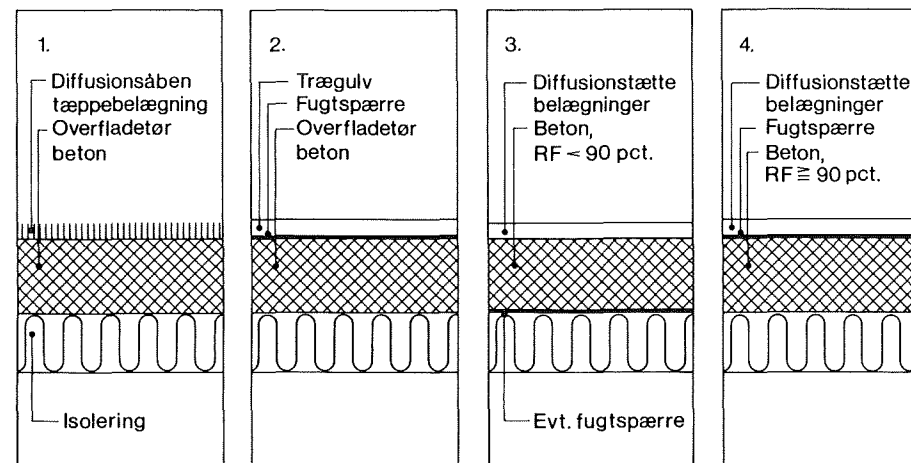
Også isoleringsmateriale i form af hårde mineraluldsplader eller stive skumplastplader kan indgå i konstruktionen som kapillarbrydende lag. Sådanne materialer bør altid anbringes oven på et lag afrettet grus.

Endelig vil løse letklinker kunne anvendes som et kombineret kapillarbrydende og varmeisolerende lag, hvis tykkelse afhænger af eventuelle andre varmeisolerende lag i konstruktionen, dog mindst 150 mm.

Så længe der er temperaturfald gennem terrændækket og ned i jorden, dvs. når bygningen er opvarmet, vil vanddamp fra jorden aldrig kunne kondensere på betonen eller på gulvbelægningen. Hvis betonen f.eks. er 20 °C varm, og jorden er 15 °C, vil der være fugtligevægt, når betonen har et fugtindhold svarende til 75 pct. RF.



Figur 51. Terrændæk i opvarmede bygninger. Varmeisolering under betonen. Opsugning af jordfugt hindres af et kapillarbrydende lag. Varmeisoleringen under betonen medfører, at temperaturen falder fra betonens underside og nedefter, og betonfugten vil fordampe nedefter. Derfor skal der normalt ikke lægges en fugtspærre under betonpladen.



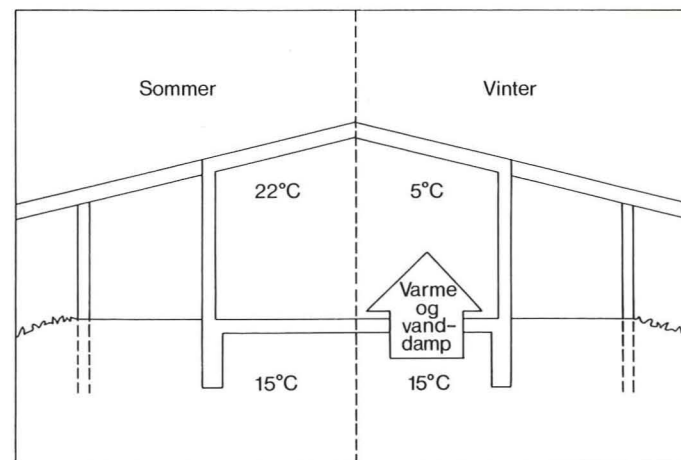
Figur 52. Terrændæk i opvarmede bygninger. Fugtfølsomme gulvbelægninger på betonpladen.

1. Diffusionsåben belægning, f.eks. tæppe uden tæt gummibagside. Betonen overfladetør.
2. Et trægulv er så fugtfølsomt, at det altid kræver en fugtspærre oven på betonen.
3. Diffusionstæt belægning, f.eks. vinyl og linoleum, direkte på tør beton, dvs. beton i fugtligevægt med den højeste RF, som belægning og lim kan tåle – ofte 85–90 pct.
4. Diffusionstæt belægning, f.eks. vinyl og linoleum, på en fugtspærre på oversiden af betonpladen. Fugtspærren er nødvendig, hvis gulvet lægges, før betonen er udtørret.

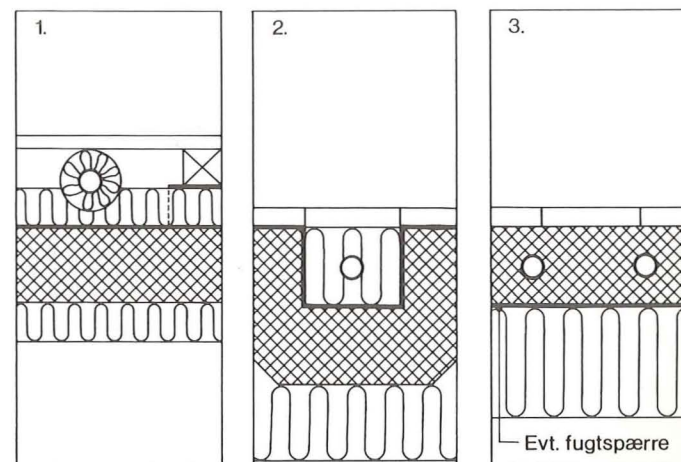
I uopvarmede bygninger, f.eks. sommerhuse, vil varme-strømmen om vinteren gå fra jorden gennem terrændækket op i huset. Dette betyder, at der er risiko for kondens på undersiden af et diffusionstæt lag. Derfor bør der ikke anvendes diffusionstætte gulvbelægninger i uopvarmede eller kun periodevis opvarmede bygninger med terrændæk, se figur 53.

Varmerør i terrændæk medfører en særlig risiko for fugtskader. Varmen fra rørene vil få en eventuel tilstedeværende fugt til at fordampe, og vanddampkoncentrationen kan blive så høj, at der kan optræde kondensation f.eks. på undersiden af et trægulv. I et terrændæk med trægulv på strøer er det derfor særlig vigtigt, at fugtspærren er effektiv under varmerørene. Der bør her anvendes en kraftig asfaltpap, som ikke er så udsat for beskadigelse under eventuel rørmontage som plastfolie.

Hvis der anvendes en kraftig varmeisolering under et betonlag med indstøbte varmerør, kan en fugtspærre mellem beton og underliggende isolering udelades, hvorved udtørringen nedad fremmes. Se figur 54.3. Hvis der anvendes diffusionstæt gulvbelægning, må der foretages udtørring, ved at gulvvarmen sættes i gang mindst en måned før gulvet lægges.



Figur 53. Jorden under terrændækket i en uopvarmet bygning er om vinteren varmere end rumluften i huset. Varmestrømmen gennem terrændækket er opadrettet, og den vanddamp, som varmemstrømmen driver opad, vil kondensere på ethvert koldt lag, som standser den. Derfor bør der ikke anvendes diffusionstætte gulvbelægninger i ikke permanent opvarmede bygninger.



Figur 54. Placering af varmerør i terrændæk.

1. Varmerør over betonlag. Rørene varmeisoleres selvstændigt og kraftigt. Det er vigtigt, at fugtspærren er effektiv.
2. Varmerør i kanal. Altid fugtspærre under fugtfølsomt gulv.
3. Indstøbte varmerør. Med kraftig varmeisolering mod jord kan fugtspærren udelades. Herved fremmes udtørringen nedad.

Fugt og ydervægge

Enhver ydervægskonstruktion skal opbygges, så den fungerer hensigtsmæssigt over for de fire V'er:

Vind - Vand - Varme - Vanddamp.

Herudover skal væggen naturligvis tilgodese krav til styrke, brandmodstand, lydisolering osv. De tidligere almindeligt anvendte massive eller hule teglstensvægge kan ikke leve op til de i de senere år stillede krav om varmeisolering. I dag udføres ydervægge af teglsten med varmeisolering i hulrummet, og samtidig er der fremkommet mange typer af sammensatte ydervægskonstruktioner opbygget af flere andre materialer.

Sammensatte vægge

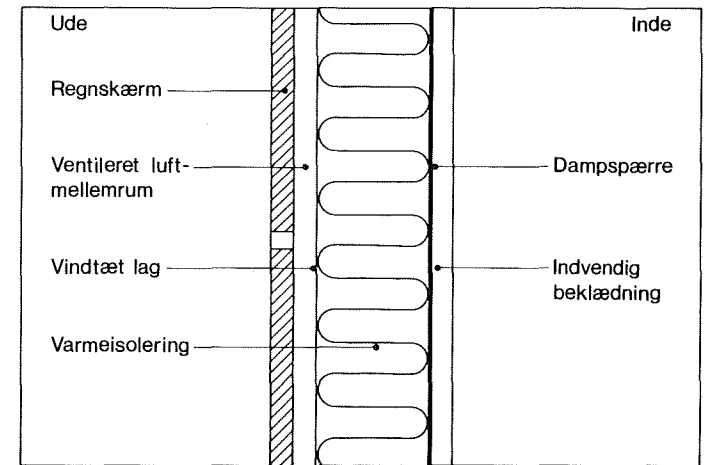
Det er imidlertid ikke nogen enkel opgave at sammensætte flere materialer til en væg, der tilgodeser alle rimelige krav.

I princippet består en sammensat konstruktion af en udvendig og en indvendig beklædning med et mellemliggende isolerende lag - sædvanligvis mineraluld, som er et meget porøst materiale, der hverken er vindtæt eller damptæt. Derfor må der placeres et vindafdækkende lag på den udvendige side og en dampspærre, dvs. et luft- og diffusionstæt lag, på den indvendige side af væggen.

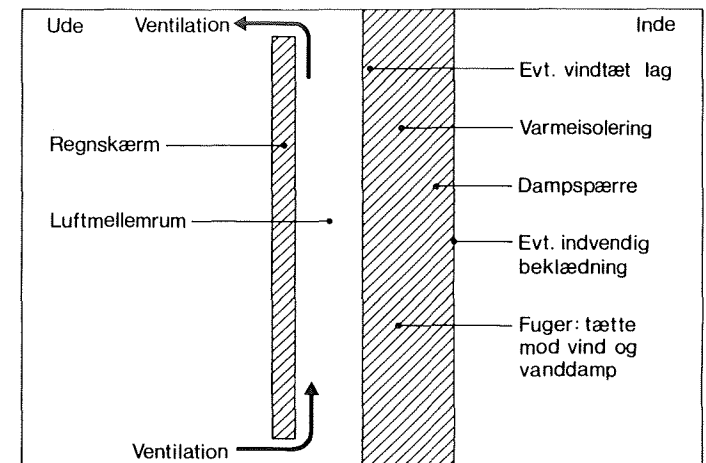
Den udvendige beklædning skal både være regntæt og vindtæt, men samtidig skal den være diffusionsåben. Den udvendige beklædning udføres derfor ofte efter to-trinsprincippet. Se figur 56.

To-trinstætning

Ved to-trinstætning opdeler man den udvendige beklædningsfunktioner i to lag: Yderst en regnskærm - der ikke må være vindtæt - og bag denne et vindstandsende lag, som er adskilt fra regnskærmen af et luftmelletrum. Når luftmelletrummet står i forbindelse med udeluften gennem passende åbninger, vil vindtrykket forplante sig ind i hulrummet, således at der opnås samme lufttryk på begge sider af regnskærmen. Der vil derfor kun blive presset regn i små mængder gennem åbningerne i regnskærmen. Normalt drænes hulrummets bund, så eventuelt indtrængt vand bortledes.



Figur 55. Princippet i en sammensat ydervægskonstruktion. Varmeisoleringen er anbragt mellem en indvendig og en udvendig beklædning. Isoleringen er yderligere beskyttet indvendigt af en dampspærre, dvs. et luft- og diffusionstæt lag, og udvendigt af et vindafvisende, diffusionsåbent lag. Alleryderst er væggen forsynet med en regnskærm.



Figur 56. Princippet i to-trinstætning. Den udvendige beklædning skaber tæthed i to trin: Yderst en regnskærm, bag denne et luftmelletrum og et vindstandsende lag. Luftmelletrummet bag regnskærmen skal være ventileret med et ventilationsareal på mindst 1 pct. af fladen. Vindtrykket vil da ikke hvile på regnskærmen, men alene på den bagved liggende, tørre væg.

Der er tillige den fordel ved to-trinstætning, at regnskærmen kan udføres af meget bestandige, men til gengæld helt diffusionstætte materialer som f.eks. glas eller metal, idet vanddamp kan ventileres ud gennem åbningerne i skærmen. Det vindstandsende lag, der afdækker isoleringen bag regnskærmen, skal derimod altid være diffusionsåbent.

Hvis man forsøger at gøre en udvendig beklædning både vindtæt og regntæt – eksempelvis ved at bruge fugemasse i fugerne i en pladebeklædning – vil vinden presse regnvand ind gennem selv den mindste utæthed, fordi beklædningen nu på samme tid kan blive påvirket af såvel regn som af stor vindtrykforskel. Det må derfor frarådes at bruge en sådan tætning.

For at give tilstrækkelig varmeisolering må en ydervæg af teglsten udføres som en mindst 350 mm hulmur med 125 mm isolering i hulrummet. Fuld udmuring omkring vinduer, i hjørner og lignende må undgås eller i hvert reduceres til et minimum. Kondensproblemer inde i væggen findes ikke. Da de to vægdele er lige gennemtrængelige for vanddamp, opstår der ganske vist kondens på formurens bagside, men kun i så små mængder, at de kan optages i formuren ved kapillarsugning. I øvrigt er kondensvandet uden betydning i forhold til de store mængder slagregn, som væggen med mellemrum kan være udsat for.

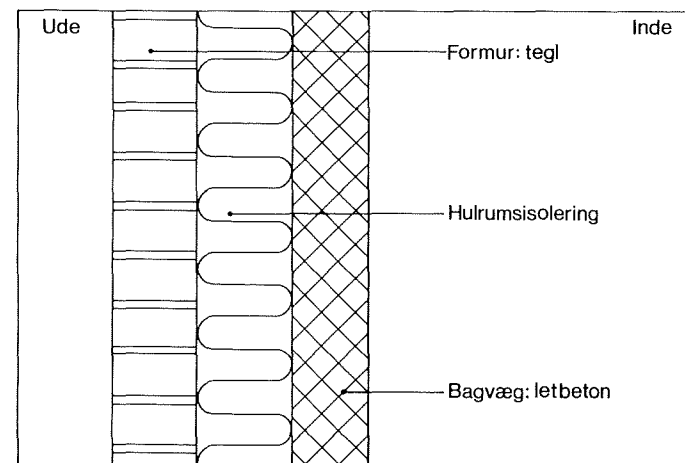
Regntætheden for teglstensvægge beror til dels på teglets evne til at opsuge vand så hurtigt, at det ikke trænger ind gennem revner og sprækker ved fugerne. Tegl er så kapillarsugende, at der kun sjældent vil løbe vand ned ad en (umalet) ydervæg. Dog kan der på de dele af en bygnings facade, som er særlig udsat for vindpåvirkning – dvs. øverst på mure og på hjørner – forekomme så store regnmængder, at en teglstensvæg ikke er i stand til at opsuge regnen. Der er derfor god grund til at beskytte teglstensvægge med et tagudhæng og at sørge for en effektiv afdækning af frie murkroner.

Ved ydervægge af teglsten kan der benyttes to-trinstætning i meget vejrhårde strøg. En sådan tætning opnås ved i hver etage at lade en række studs-fuger stå åbne i formurens bund. Vindtrykket kommer herved til at hvile på bagmuren.

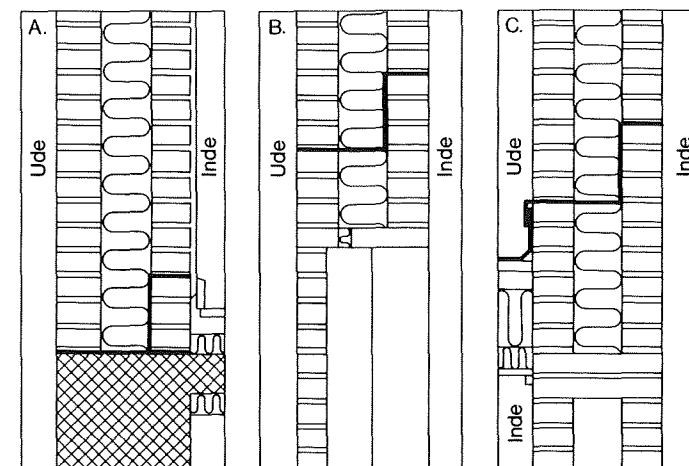
Uanset at teglstensvæggen normalt opsuger alt regnvand, vil det dog aldrig helt kunne undgås, at noget vand trænger gennem en halvstens formur, og det må derfor sikres, at vand i

Ydervæg af teglsten

Tagudhæng, afdækning af murkroner



Figur 57. Eksempel på hulmur med formur af teglsten uden puds. Da en sådan ydervæg ikke har dampspærre på den indvendige side, vil der opstå kondens på formurens bagside, men kun i så små mængder, at de kan optages i formuren ved kapillarsugning. Teglstenenes evne til at opsuge vand meget hurtigt giver traditionelle murede ydervægge en rimelig god regntæthed.



Figur 58. Indlægning af murpap eller lignende i hulmur af teglsten. Murpapen skal hindre, at slagregn, der trænger ind og løber ned ad formurens bagside, kan løbe videre ind i huset. I stedet ledes eventuelt vand tilbage ud i formuren.

A. Ved sokkel. B. Over vindue og yderdør. C. Over et lavere liggende tag, der støder mod en ydervæg eller en murkrone.

bunden af hulrummet ledes væk fra bagvæggen ved hjælp af opbøjet murpap. Der må også indlægges murpap over muråbninger, så indtrængende regnvand altid ledes ud mod formuren. Se figur 58 på forrige side.

Vindtætheden i en ydervæg af teglsten bør ligge i bagmuren, hvilket forudsætter, at bagmuren enten pudses, berappes eller gives komprimerede fuger. På den anden side skal også de udvendige fuger komprimeres af hensyn til mørtelens frostbestandighed, så formuren bliver også forholdsvis vindtæt.

Regnskærmen må ifølge to-trinsprincippet ikke være vindtæt, men i en træskeletvæg skal der være vindtætte lag på begge sider af varmeisoleringen. Af hensyn til kondensrisiko må det tilrådes, at det indvendige lag (dampspærren) udføres mere vindtæt (lufttæt) end det udvendige. Det vil så være det indvendige lag, som bliver belastet af vindtrykket – i stormvejr over 500 Pa (50 kg/m²). Hvis den indvendige dampspærre er f.eks. plastfolie, må den derfor støttes på hele fladen af den indvendige beklædning. I modsat fald kan folien blive revet løs, og der vil også kunne opstå vindstøj inde i vægkonstruktionen.

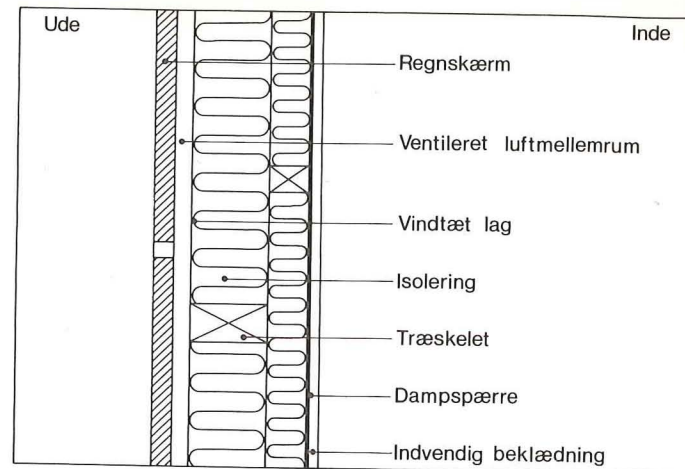
Det er særlig vigtigt at være opmærksom på vindtætheden under fodremmen i en træskeletvæg. Her må der stoppes og anvendes fugemasse til tætning, og det gælder også, hvor træskeletvæggen er forsynet med en skalmur – vindtætheden ligger i bagvæggen, ikke i skalmuren!

For at opnå tilstrækkelig isoleringstykkelse i en træskeletvæg lægges ofte et lag krydsende lægter på ydersiden af de bærende træstolper, og isoleringen lægges i to lag. De krydsende lægter kan også anbringes på indersiden af stolperne og samtidig kan dampspærren lægges mellem stolper og lægter mellem de to lag isolering. Ved denne opbygning kommer f.eks. 50 mm af isoleringen på den varme side af dampspærren, og el-installationer kan da udføres mellem lægterne uden at gennembryde dampspærren. Bemærk dog, at såfremt det yderste isoleringslag er mangelfuldt, vil der være en betydelig risiko for kondensdannelse på dampspærren.

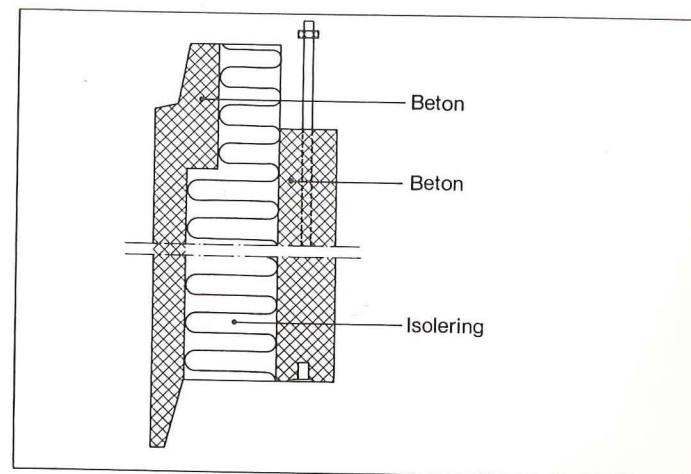
Ved indvendig efterisolering af en ydervæg (mod varmetab) skal der opsættes en dampspærre ind mod det varme rum. Sædvanligvis anbringes isoleringen mellem f.eks. lægter, hvorpå der så opsættes en beklædning. Der kan også anvendes præfabrikerede elementer med indbygget dampspærre.

Træskeletvæg

Efterisolering af ydervæg



Figur 59. Eksempel på træskeletvæg med regnskærm og ventileret luftmelletrum. For at skabe tilstrækkelig isoleringstykkelse er der sømmet krydsende lægter på indersiden af de bærende stolper og løsholter. Dampspærren er vist på indersiden mod den indvendige beklædning, men den kan også placeres på stolperne, dvs. mellem de to lag isolering.



Figur 60. Eksempel på ydervægselement af jernbeton – også benævnt sandwichelement. De to jernbetonplader er sammenholdt af armeringsbøjler, og i mellemrummet er der anbragt isolering, som skal være vandafvisende for at hindre eventuelt regngennemslag. Fuger mellem ydervægselementer bør altid udføres med to-trinstætning.

Sommerkondens

Indvendig efterisolering bør kun udføres, hvis der er sikkerhed for, at vand ikke trænger ind i isoleringen udefra. Foruden direkte regngennemslag er der en vis risiko for, at regn, som er suget ind i en teglmur, ved efterfølgende solpåvirkning kan drives indad og danne kondens på dampspærren, såkaldt sommerkondens. Af denne grund må indvendig efterisolering frarådes ved massive mure af tegl og lignende, hvis disse er særligt udsatte for både slagregn og sol.

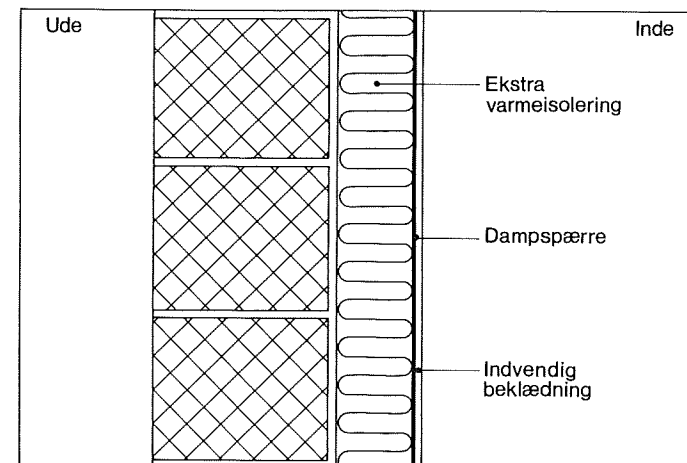
Sommerhuse er særligt udsatte for problemer af denne art, idet der ikke er nogen udadrettet varmestrøm om vinteren, som kan drive fugten ud igen. I sådanne tilfælde vil det derfor være bedst at udelade dampspærren.

Hvis der er tale om en træskeletvæg, hvis varmeisolering ved efterisoleringen forøges med 50 pct. eller mere, må en eventuel dampspærre i den eksisterende væg fjernes, før den nye isolering og en ny dampspærre opsættes.

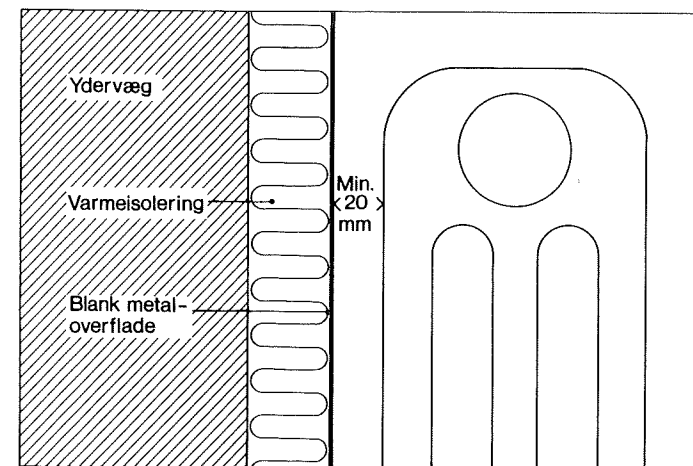
Ved udvendig efterisolering af en ydervæg kan anvendes to-trinstætning med en regnskærm foran den nye isolering, eller der kan anvendes isoleringsmaterialer dækket af puds eller tegl. Normalt er udvendig efterisolering at foretrække i fugt- og varmeteknisk henseende, da den eksisterende væg holdes varm og tør. Endvidere undgås kuldebroer.

Indblæsning af isolering

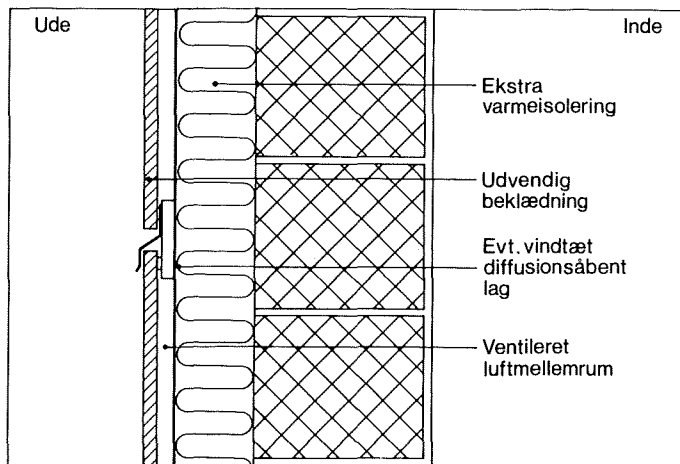
En ofte anvendt metode til efterisolering er at udfylde hule mure med et isolerende fyld. Erfaringerne har vist, at ældre hulmure kan udfyldes helt med isoleringsmateriale uden fare for frostskeer i formuren, såfremt denne er i god stand med intakte fuger. En vis forsigtighed må tilrådes ved udvendigt malede og pudsede vægge, hvor udtøringsmuligheden nedsættes. Regngennemslag til bagmuren vil normalt ikke forekomme, blot isoleringsmaterialet er vandafvisende.



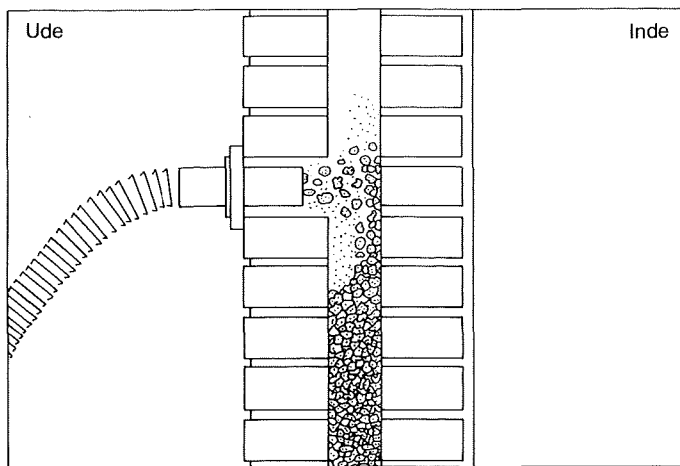
Figur 61. Indvendig efterisolering af ydervæg. På indersiden af væggen er opsat et lægteskelet, som er udfyldt med mineraluld. Lige under den nye indvendige vægbeklædning er der anbragt en dampspærre. Den eksisterende væg skal være tæt over for slagregn, da der ellers vil kunne optræde fugt i den indvendige efterisolering.



Figur 62. Efterisolering bag en radiator på en ydervæg. Bag radiatoren er opsat en varmeisolerende plade. Afstanden mellem plade og radiator bør være mindst 20 mm, da radiatorens varmeafgivelse ellers nedsættes. Bag for småt dimensionerede radiatorer bør der kun anbringes blank metalfolie, hvis der udføres ekstra isolering af de rum, radiatorerne opvarmer.



Figur 63. Udvendig efterisolering af ydervæg. På den udvendige side af væggen er opsat et lægteskelet, som er udfyldt med mineraluld og dækket med et vindstandsende, diffusionsåbent lag. Foran lægteskelettet er anbragt en regnskærm på afstandsklodser, således at der fremkommer et ventileret luftmelletrum mellem regnskærm og vindafvisende lag.



Figur 64. Efterisolering af hulmur ved indblæsning af isoleringsmateriale i hulrummet. Hvis isoleringsmaterialet er vandafvisende, er der ingen risiko for regngennemslag til bagmuren. Når ældre hulmure fyldes helt ud med isoleringsmateriale, vil der heller ikke forekomme frostskeer i formuren, blot denne er i god stand med intakte fuger.

Fugt og vinduer

Kondens på
undersiden af glas

Overfladekondens på et vindue optræder, når temperaturen på ruden er lavere end rumluftens dugpunkttemperatur. Risikoen for kondens afhænger derfor af vinduets k-værdi, udetemperaturen, rumtemperaturen og især rumluftens fugtighed. Overfladekondens på glasset kan ødelægge en vinduesramme af træ, når vandet løber ned og opsuges i træet.

Det har tidligere i denne anvisning været nævnt, at kondens på vinduer er tegn på, at rummets ventilation skal forbedres. Dug på ruder optræder især ved pludseligt omslag til koldt vejr, hvor ruderne straks bliver kolde, mens rumluften stadig har et højt fugtindhold. I denne situation må der derfor luftes særlig kraftigt og længe ud. Der er store fugtmængder akkumuleret i husets materialer, og al denne fugt skal afgives, før rumluften varigt kan antage en lavere relativ fugtighed.

Hvert efterår skal der i virkeligheden ske en udtørring af huset, og det er nødvendigt at få denne udtørring startet, så snart varmesæsonen begynder.

Kondens mellem
to lag glas

Kondens kan også optræde på undersiden af det udvendige glas ved koblede vinduer og ved vinduer med forsatsrammer. Det skyldes, at rumluft er trængt ind mellem de to lag glas, og vanddampen er fortættet på det kolde, udvendige glaslag. Se figur 65. Derfor må den indvendige vinduesramme være så tætsluttende, at rumluften ikke trænger ind. Således skal eventuelle tætningslister altid sidde ved den indvendige ramme. Der må derimod gerne være en vis ventilation til det fri af mellemrummet mellem glaslagene. Vinduets varmeisolerings-ejne nedsættes ikke væsentligt herved.

Utætte vinduer
giver kondens

Hvis begge rammer i et koblet vindue eller i et vindue med forsatsrammer er utætte, vil der blæse kold luft ind i vindsiden, og her vil der ikke være kondens. Men i læsiden strømmer rumluften ud i mellemrummet, og kondensationen kan i koldt vejr blive meget kraftig. Dette er et typisk eksempel på kondens som følge af luftstrømning – fugtkonvektion.

Trævindue i væg af murværk eller beton

Regnskærmen i fugen omkring et trævindue i en ydervæg af teglsten eller beton bør udføres som vist på figur 66 med mørtel, der er diffusionsåben. Som regnskærm bør ikke anvendes diffusionstæt fugemasse, da den vil standse indefra kommende fugt, som så opsuges i træet med råd og svamp til følge. Derimod bør en fugemasse anvendes som lufttætnende lag bagest i fugen.

Regnskærmen – uanset om den er en mørtelfuge, et kunststofprodukt eller et fugebånd – bør i bundfugen holdes tilbagetrøkket fra det plan, som regnskærmen i de øvrige fuger danner. Herved kan der sikres trykudligning, og regnvand, som har passeret regnskærmen i de lodrette sider, kan løbe ned foran regnskærmen i bunden. Det anførte gælder også for vinduer af andet materiale end træ, indsat i murværk og beton, blot er der her ikke risiko for råd og svamp.

Trævindue i trævæg

Fuger omkring vinduer i trævægge skal også udføres efter to-trinsprincipet. Som regnskærm kan anvendes en træliste med bagved liggende hulrum, dybde min. 10 mm. Trælisten er uegnede som regnskærm til fuger ved murværk.

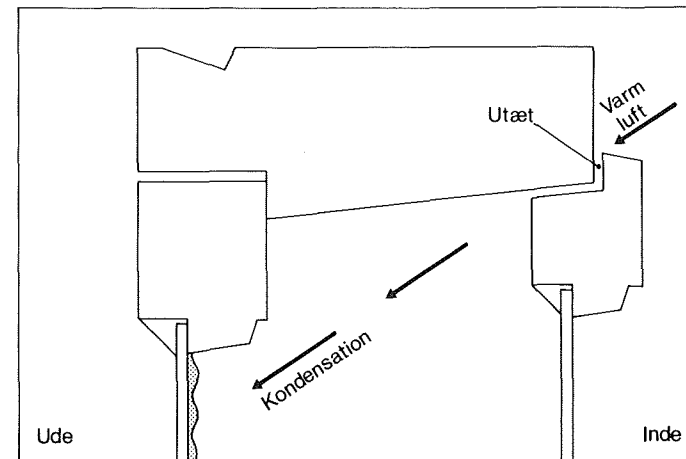
Efterfugning af ældre vinduer

Ved tætning af ældre vinduer kan det være svært at få anbragt fugemasse bagest i fugen, fordi det vil kræve aftagning af lysningspaneler etc. Derfor kan efterfugning udefra være eneste realistiske mulighed for at opnå passende vindtæthed. Fugning med fugemasse i fugens ydre del er dog altid forbundet med en vis risiko for opfugtning af karmtræet. Men erfaringer har vist, at hvis murværket omkring vinduet er sundt, giver fugemassen anbragt yderst i fugen ikke fugtproblemer, idet fugt, som dannes i fugen, bliver videretransporteret ved kapillarsugning gennem murværket.

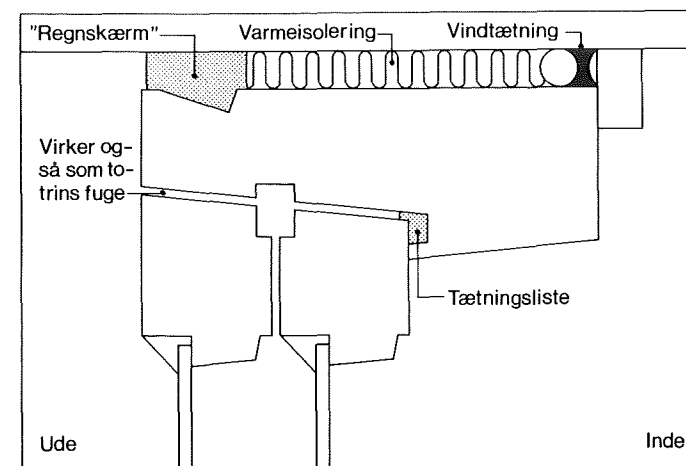
Beton giver ikke tilsvarende kapillarsugende effekt. Ved efterfugning af vinduer i betonvægge må fugemasse derfor ikke anvendes i fugens yderste del. I betonvægge skal eventuel fugemasse anbringes i fugens inderste del – om nødvendigt udefra – og en regnskærm skal etableres med fugebånd eller -profiler.

Regnvand er den hyppigste årsag til fugt og skader i vinduestræ. Tidligere tiders vinduer rådne sjældent og da som regel som følge af kondens på enkeltruder. Nyere vinduer er ofte indadgående, i nogle tilfælde med rammen tæt ved karmens inderside. Herved bliver der brede, opadvendende træflader, som er udsat for regn, og især hjørnesamlingerne er

Regnvand kan medføre skader i trævinduer



Figur 65. Traditionelt trævindue med forsatsramme. Hvis forsatsrammen ikke er tæt, kan fugtig rumluft trænge ind i mellemrummet mellem vinduesrammerne, og der vil dannes kondens på det yderste lag glas, når udetemperaturen nærmer sig frysepunktet.



Figur 66. Koblet vindue af træ. Tætningslisten er anbragt i vinduets indvendige side, hvorved rumluften hindres i at trænge ind mellem rammerne og danne kondens. Fugen mellem karm og væg er udført med to-trinstætning: En mørtelfuge som regnskærm på den udvendige side, og en fugemasse som vindtæt lag på den varme, indvendige side.

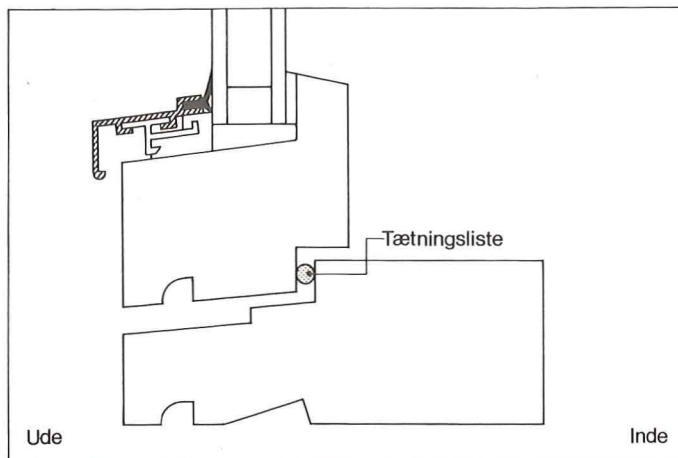
Indsætning
at termoruder

sårbare. Alle udvendige, opadvendende flader bør have et fald udad på mindst 1:8.

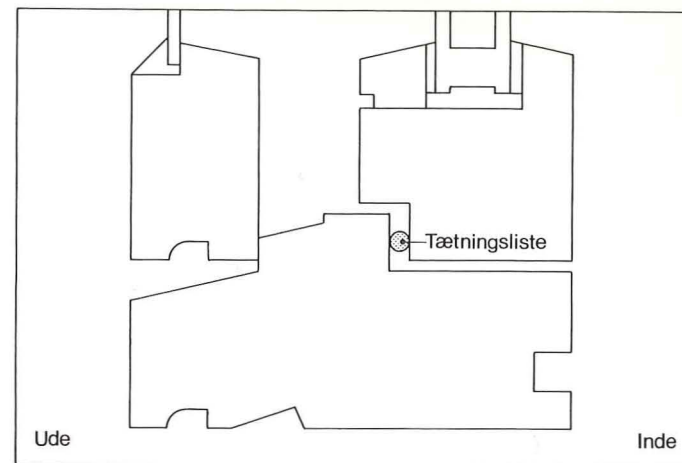
Desuden er de større trædimensioner i dag et risikomoment, idet et tykt stykke træ er længere om at udtørre ved omslag til sol og mere tilbøjeligt til at revne. Anvendelse af trælister til indsætning af glas giver i uhensigtsmæssige konstruktioner en betydelig fare for vandindtrængen, og glaslister af andre materialer, fx aluminium, må derfor foretrækkes.

Indsætning af termoruder bør foregå efter rudefabrikantens forskrifter. Blandt andet er det vigtigt, at:

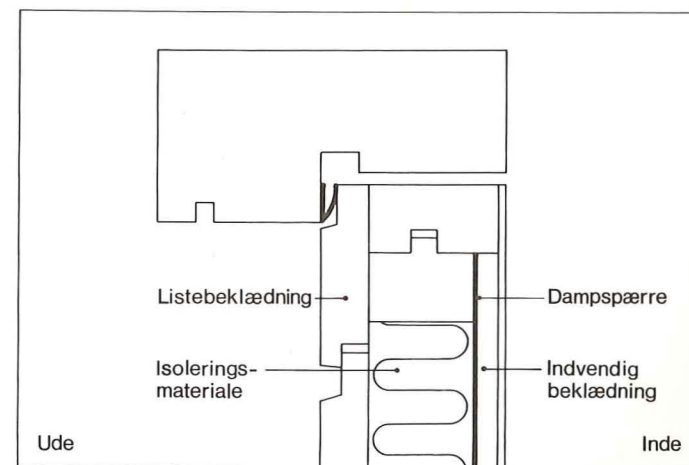
- bundfals skal være skrå, ventileret og drænet,
- bundglasliste skal være gennemgående i hjørner og have fremspring og vandnæse,
- bæreklodser samt styre- og transportklodser skal placeres og fastgøres korrekt,
- fugebånd skal være af anerkendt fabrikat og topforseglet både ud- og indvendigt. Mindste dimension af topforseglingen 3×3 mm.



Figur 67. Eksempel på trævindue med to-lags termorude i en enkelt udadgående ramme. Vinduet er forsynet med letaftagelige glaslister af aluminium. Ved termoruders indsætning skal rudefabrikantens monteringsanvisning følges.



Figur 68. Eksempel på trævindue med tre lag glas. Den udvendige forsatsramme har et enkelt lag glas, som beskytter termoruden i den indvendige ramme. Tætningslisten skal altid anbringes ved den indvendige ramme, så den varme rumluft hindres i at trænge ind mellem vinduesrammerne. Mellemrømmet bør være ventileret mod det fri.



Figur 69. Isoleret yderdør. Bemærk, at der er anbragt en dampspærre lige under dørens indvendige beklædning. Dampspærren skal forhindre kondensdannelse inde i døren på bagsiden af den udvendige listebeklædning. Fuger omkring yderdøre bør udføres med to-trinns-tætning på samme måde som vinduer.

Fugt og tage

Et tag skal være tæt for regn, sne og smeltevand. Desuden skal det være varmeisolerende og vindtæt, og endelig skal det være sikret mod, at vanddamp fra indeluften kondenserer i tagkonstruktionen.

Fugtproblemer opstår ofte som følge af kondensdannelse efter diffusion eller strømning af varm rumluft op i tagkonstruktionen (fugtkonvektion).

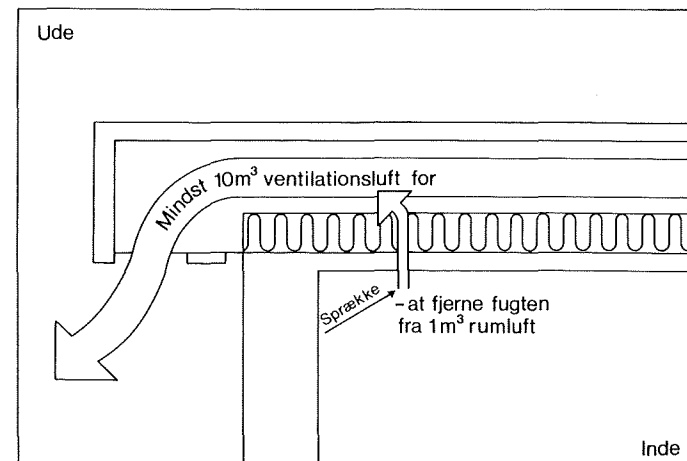
En dampspærre på den varme side af tagets varmeisolering hindrer diffusion fra den varme og vandholdige rumluft op i et koldt tagrum. Men dampspærren skal også være tæt over for rumluft, som søger at trænge op i tagkonstruktionen, hvor der ofte er undertryk på grund af vindpåvirkning eller på grund af ventilationen af tagrummet. Også det beskedne overtryk, der dannes under loftet på grund af den termiske opdrift i luften, vil bidrage til, at rumluften i den kolde årstid har tilbøjelighed til at trænge op i tagkonstruktionen. Et koldt tagrum må derfor ventileres kraftigt, se figur 70 og 71.

I nyere byggeri, hvor der kan være mange fuger i loftbeklædningen (listeloft, gipsfliser), er der større fare for luftopstrømning end i ældre byggeri med pudsede lofter, idet den sammenhængende pudsflade gav en ganske udmærket lufttæthed.

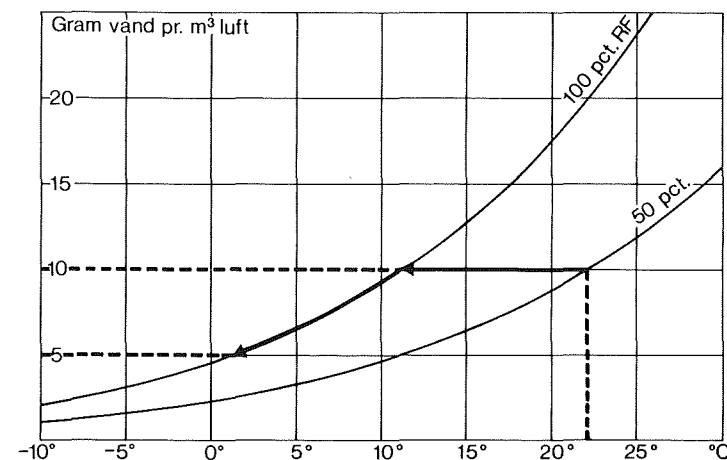
I rum med meget stor luftfugtighed – svømmehaller og lokaler med luftbefugtning – må der udvises særlig agtpågivenhed over for luftopstrømning, og det samme gælder rum, hvor der er skabt et overtryk af ventilationsanlæg, måske endda i forbindelse med luftbefugtning.

Erfaringen viser, at kolde, ventilerede tagkonstruktioner af gængs udførelse normalt er uegnede over rum med særlig stor fugtbelastning. Her må foretrækkes en uventileret tagkonstruktion, som lettere udføres tæt over for opstrømmende luft fra underliggende rum.

Risiko ved stor fugtbelastning



Figur 70. Koldt tag. Kun ved kraftig ventilation kan kondensation om vinteren af rumluft, som trænger gennem utætheder op i tagrummet, undgås. 1 m³ rumluft (22 °C, 50 pct. RF) indeholder 10 g vand. 1 m³ udeluft (2 °C, 90 pct. RF) indeholder 4,5 g vand og kan kun optage yderligere 0,5 g. Der skal derfor 10 m³ udeluft til at fjerne fugten fra 1 m³ rumluft.



Figur 71. Vanddampdiagrammet viser, at 1 m³ rumluft på 22 °C og med et vandindhold på 10 g afgiver de 5 g ved afkøling til 2 °C (tagets temperatur om vinteren). Hvis vandet ikke fjernes ved ventilation, som anført i figur 73, vil der dannes kondens i tagkonstruktionen. Et koldt tag skal i øvrigt altid have indlagt en dampspærre på isoleringens varme side.

Et varmt tag (uventileret tag) har ingen ventilationsåbninger til det fri. Fugttilførslen fra det underliggende rum kan forudsættes så lille – og dermed uskadelig – at den ikke behøver at blive fjernet ved ventilation. Hele varmemstrømmen går vinkelret på tagets plan gennem tagdækningen.

Et koldt tag (ventileret tag) har oven over varmeisoleringen et hulrum, som forudses at skulle gennemstrømmes af udeluft. Herved tilstræbes, at byggefugt, fugt fra utætheder og fugt tilført ved diffusion eller opstrømning fra underliggende rum, føres bort og ikke ophobes, hvorved der kunne opstå risiko for fugtskader. Ventilation af hulrummet med udeluft medfører, at kun en del af varmemstrømmen går gennem tagdækningen, hvorfor denne bliver koldere end i det varme tag.

Ved kraftig varmeisolering af de to tagkonstruktioner bliver forskellen mellem temperaturen i tagdækningerne dog ganske beskedne.

I et varmt tag anbringes varmeisoleringsmaterialet som regel oven på tagets bærende del, der kan være af beton, letbeton, træ, træbaserede plader eller profilerede stålplader. Isoleringsmaterialet kan i sig selv være trædefast eller være forsynet med et trykfordelende lag på oversiden. Oven på isoleringsmaterialet eller det trykfordelende lag anbringes den vandtætte tagbeklædning, eksempelvis tagpap eller kunststofbelægning.

Der bør normalt lægges en dampspærre på isoleringslagets varme side for at forhindre eventuel byggefugt i at trænge op i isoleringslaget. Dampspærren skal også hindre, at der transporteres fugt op i tagets kolde dele under vinterforhold. Den kan f.eks. udføres af et lag asfaltpap klæbet til underlaget. Når dampspærren placeres oven på den bærende konstruktion, er det muligt at kontrollere arbejdsudførelsen. Se figur 72.

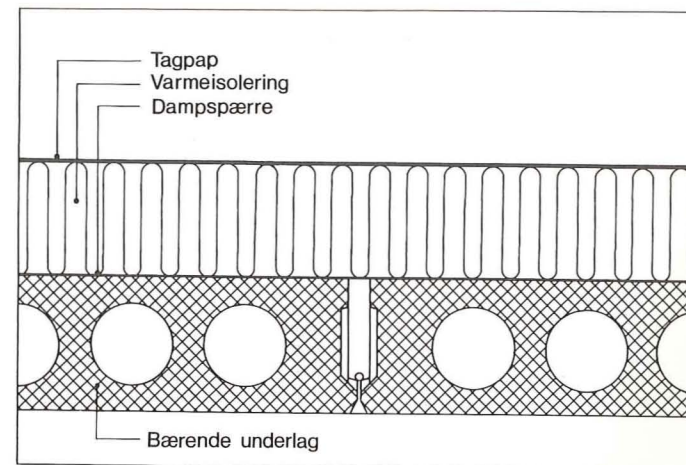
Hvis der anvendes mindre diffusions- og lufttætte lag på isoleringens varme side, må det i hvert enkelt tilfælde vurderes, om isoleringsmaterialet og et eventuelt trykfordelende lag oven på dette kan akkumulere og senere afgive fugten, uden at det trykfordelende lag ødelægges og uden at tagdækningsmaterialet skades.

Ved valg af tagdækningsmateriale må det sikres, at tagdækningen uden at skades kan optage de bevægelser, der opstår i den underliggende trykfaste isolering eller i det eventuelle træ-

Trykudligning

defaste lag. Sådanne bevægelser kan være forårsaget f.eks. af svind eller af de uundgåelige dimensionsændringer, som skyldes fugt- og temperaturvariationer.

Ved tagpapdækninger bør der på grund af solopvarmningen af luften i isoleringsmaterialet normalt skabes mulighed for trykudligning under det først udlagte, sammenhængende lag tagpap. Hvis isoleringsmaterialet ikke i sig selv er åbent, som f.eks. mineraluld, kan der opnås fornøden trykudligning ved anvendelse af trykudligningspap, der punktklæbes til underlaget. Luften kan da fordele sig under pappen. Bemærk dog, at *alle* efterfølgende lag tagpap skal fuldklæbes for at undgå dampbuler i tagpapdækningen. Trykudligning sker normalt ved tagkant. Hvis afstanden mellem tagkanterne overstiger 10 meter, bør der desuden opsættes en trykudligningshætte pr. 300–500 m² tagareal.



Figur 72. Varmt tag, uden ventilation. Varmeisoleringen ligger oven på den bærende del af tagkonstruktionen, der f.eks. kan være beton-elementer som på denne figur. Isoleringsmaterialet kan være trædefast eller have et trykfordelende lag på oversiden. Almindeligvis udlægges en dampspærre under isoleringen, f.eks. asfaltpap klæbet til underlaget.

I et koldt tag tilstræbes det at fjerne fugt i det kolde hulrum over varmeisoleringen ved hjælp af rigelige mængder gennemstrømmende udeluft. Det er en absolut nødvendighed, at der lægges en dampspærre på isoleringens varme side, først og fremmest for at skabe tæthed mod opstrømmende, varm og fugtholdig rumluft – men også af energimæssige grunde.

Ventilationen af tagrummet tjener yderligere det formål at fjerne eventuel byggefugt og fugt fra fygesne eller vand, der gennem utætheder er trængt ind i taget udefra.

Da dampspærren skal være lufttæt, må samlingerne i denne udføres klemte, svejste eller lukket med tape af god kvalitet. Erfaringsmæssigt er det vanskeligt – selv med stor omhu – at opnå tilstrækkelig lufttæthed især langs vægge og gennemføringer i taget. Det kan derfor anbefales at skabe lufttæthed i loftkonstruktionen ved at anvende et plademateriale som loftbeklædning. Ved at tætnede pladesamlingerne med en tape af god kvalitet og anvende en fugemasse langs vægge og gennemføringer vil der være god mulighed for at skabe den nødvendige lufttæthed på disse kritiske punkter.

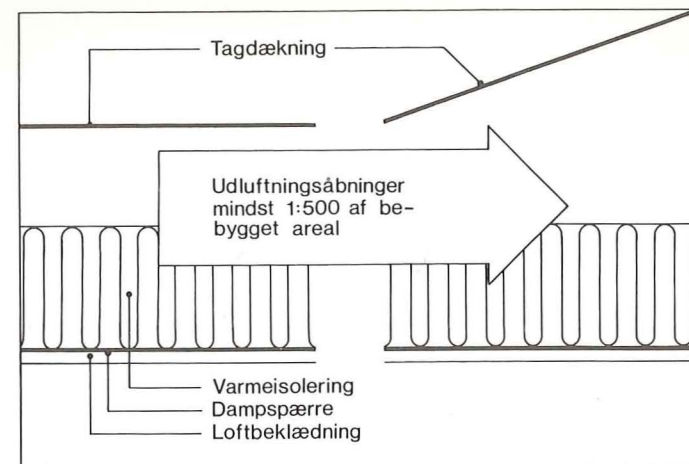
Diffusionstæthed kan opnås f.eks. med en 0,15 mm polyethylenfolie, som eventuelt kan være klæbet på beklædningspladernes bagside.

Bemærk, at det er langt vigtigere i almindeligt byggeri at opnå lufttæthed i en tagkonstruktion end at benytte en dampspærre med en meget høj vanddampmodstand.

I Bygningsreglement 1982 er det angivet, at der ikke må forekomme skadelig kondensation i tage, hvori der findes træ eller træbaserede materialer. Dette krav kan anses for opfyldt, hvis ventilationsåbningernes samlede areal er mindst $1/500$ af det samlede bebyggede areal ($1/1000$ ved hver tagkant). Endvidere skal ventilationsluften fordele sig jævnt over den ventilerede flade.

Ofte anvendes en vindtæt afdækning oven på isoleringen i ventilerede tagkonstruktioner. Imidlertid vil et sådant lag normalt ikke yde den tilstrækkelige lufttæthed til at forhindre luftopstrømning. En afdækning over varmeisoleringen må i øvrigt have en vanddampmodstand på højst $1/10$ af modstanden i dampspærren under isoleringsmaterialet.

Indtrængen af fygesne i ventilerede tagkonstruktioner kan i nogen grad forhindres, hvis der i tagudhænget skabes et »sne-



Figur 73. Koldt tag med ventileret hulrum over et varmeisoleringslag. I Bygningsreglement 1982 foreskrives et samlet areal af ventilationsåbningerne på mindst $1/500$ af det bebyggede areal, og åbningerne skal være placeret, så ventilationsluften fordeles jævnt over varmeisoleringens overside. Konstruktionen er uegnet over rum med stor fugtbelastning.

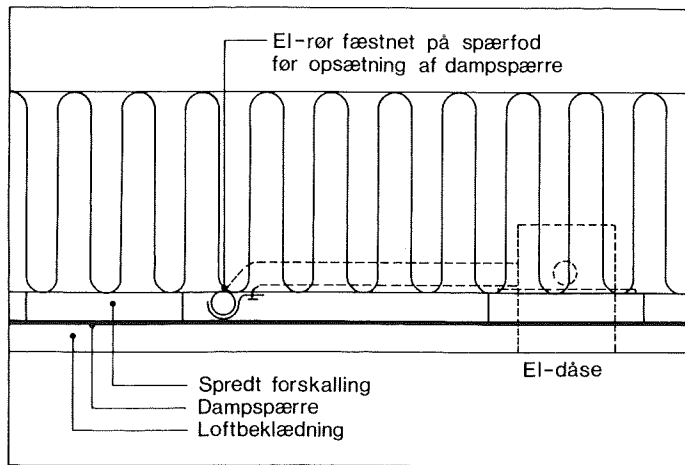
El-installationer i lofter

fang« i form af et hulrum, hvori lufthastigheden nedsættes, inden luften når ind i selve taget.

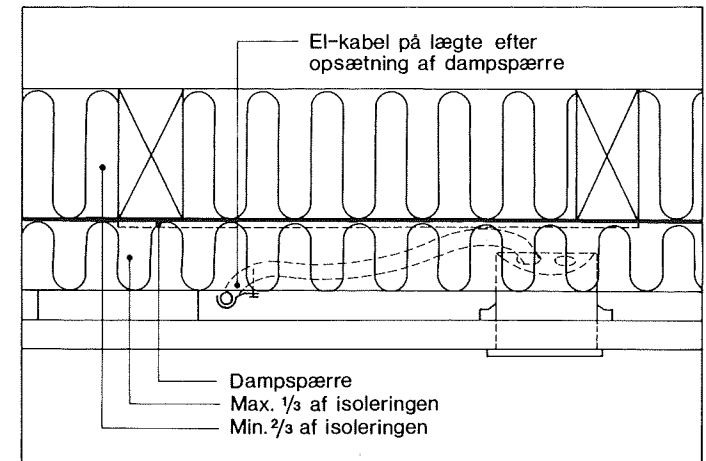
Det kan være overordentlig vanskeligt at skabe tilstrækkelig tæthed, hvor el-installationer skal føres gennem dampspærren i en loftkonstruktion, og særlig agtpågivenhed må udvises for at undgå, at dampspærren beskadiges.

Skader vil kunne undgås, hvis dampspærren kan opsættes på et sent tidspunkt, f.eks. samtidig med opsætning af eventuelle loftplader. Når dampspærren opsættes imellem en spredt forskalling og loftpladerne, må det sikres, at der ikke kan strømme kold udeluft igennem de »kanaler«, der findes mellem brædderne i den spredte forskalling.

En anden mulighed er at anbringe dampspærren et stykke oppe i isoleringen, så el-installationer frit kan anbringes i det isoleringslag, der findes på dampspærrens varme side. Her skal også el-dåser kunne monteres nedefra. Hvis denne fremgangsmåde anvendes, må isoleringen på dampspærrens varme side højst udgøre en trediedel af den samlede isoleringstykkelse. Temperaturen på dampspærren bliver da så høj, at der



Figur 74. Hvor det ikke kan undgås, at el-installationer gennembryder en dampspærre, må dampspærren udføres af en 0,15 mm polyethylenfolie, og samlingerne må klemmes mellem underlaget og loftbeklædningen. Der må ikke kunne trænge kold udeluft ind i de »kanaler«, der findes mellem brædderne i den spredte forskalling.



Figur 75. Loftkonstruktion med dampspærren anbragt et stykke oppe i varmeisoleringen. El-installationerne kan føres frit i det nederste isoleringslag. Et el-dåsesystem med lav byggehøjde tillader, at lampeudtag kan anbringes i loftet under dampspærren. Inden el-dåsernes montering anbringes en træfiberplade for at sikre, at dampspærren forbliver intakt.

Gennemføring af kanaler og rør

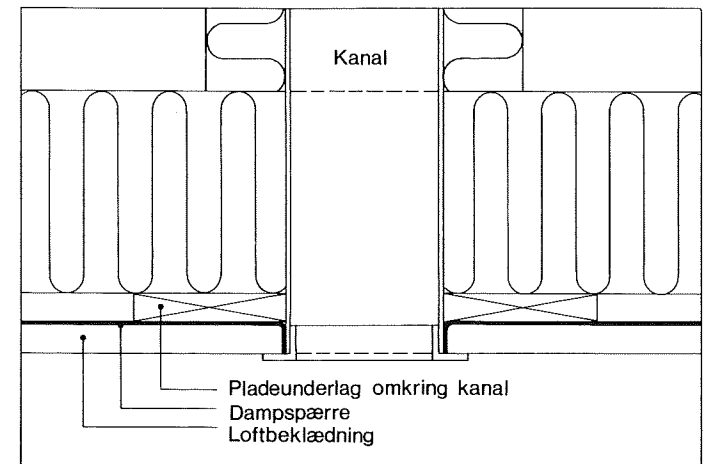
ved almindelig fugtbelastning i det underliggende rum ikke er risiko for kondens på dampspærren eller i taget i øvrigt.

Hvor dampspærren i loftet gennembrydes af kanaler, kræves der også særlig omhyggelig tilrettelægning og arbejdsudførelse, se figur 76.

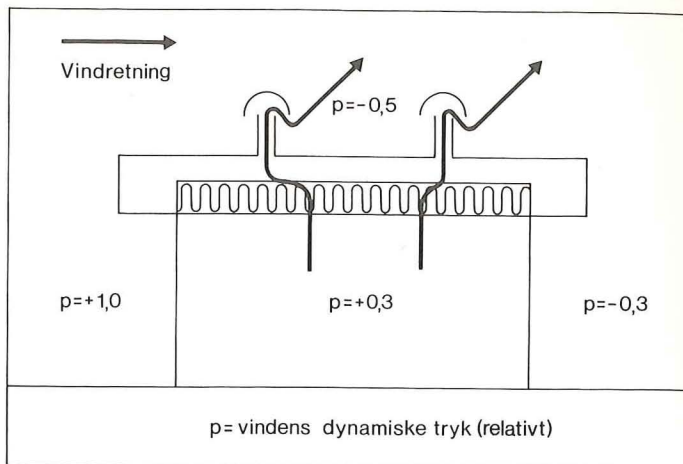
Hvor et rør af mindre dimension føres igennem en dampspærre af et sejt materiale, kan der skæres et hul noget mindre end rørets diameter. Derefter presses røret forsigtigt gennem hullet, og den opkrængede kant af dampspærren fæstnes til røret ved bevikling med tape af god kvalitet. Røret må være fastholdt, for at dampspærren ikke skal blive trukket i stykker.

Hætter i kolde tage må frarådes

Hætter har tidligere været anvendt på tagfladen i ventilerede, flade tagkonstruktioner, når det ikke var muligt at ventilere tilstrækkelig kraftigt langs tagkanterne. Denne form for supplerende eller erstatning af ventilation langs tagkanter må der advares imod, fordi det i praksis er næsten umuligt at opnå en helt tæt dampspærre. Se figur 77.



Figur 76. Hvor en ventilationskanal eller et rør af mindre dimension skal føres gennem en dampspærre af et sejt materiale, kan der skabes lufttæthed ved at skære et noget mindre hul end rørets tværsnit. Røret presses gennem hullet i dampspærren, og den opkrængede kant fæstnes til røret ved bevikling med tape af god kvalitet.



Figur 77. Ventilationshætter i et fladt tag vil i fyringssæsonen trække fugtholdig rumluft ud af bygningen på grund af termisk opdrift i de opvarmede rum og på grund af vindsug på tagets overside. I praksis er det nemlig næsten umuligt at opnå en helt tæt dampspærre. Hvis der ikke kan ventileres langs tagkanter, bør der anvendes et varmt, uventileret tag.

Hætter i en kold, flad tagkonstruktion vil nemlig påvirke fugtforholdene i en uheldig retning. På grund af det termiske drivtryk i et rum vil der som tidligere nævnt altid i opvarmningssæsonen være et svagt overtryk ved loftet, og rumluften vil da søge op gennem utætheder i loftet og videre til det fri gennem hætterne. På sin vej vil den afgive sit indhold af vanddamp i tagets kolde dele. Det samme forhold opstår, når vinden blæser over tagfladen. Uanset vindretning vil vinden skabe et undertryk på det flade tags overside, og rumluften vil også i dette tilfælde søge opad og ud gennem hætterne i taget. Selv hætter, som er monteret parvis, således at der ved vindens påvirkning opstår tryk i den ene og undertryk i den anden, vil – uanset deres udformning – altid kunne trække rumluft ud af bygningen på grund af den termiske opdrift og på grund af vindsug. Til bygninger, hvor der ikke kan ventileres langs tagkanterne, anbefales det derfor at anvende et varmt tag i stedet for et koldt tag »perforeret« af ventilationshætter.

I varme tage med mere end ca. 10 meter mellem tagkanterne bør der som tidligere nævnt udføres en trykudligningshætte for hver 300–500 m² tagflade. Disse hætter anvendes for at

Hætter i varme tage til trykudligning

Tegltage med diffusionstæt undertag

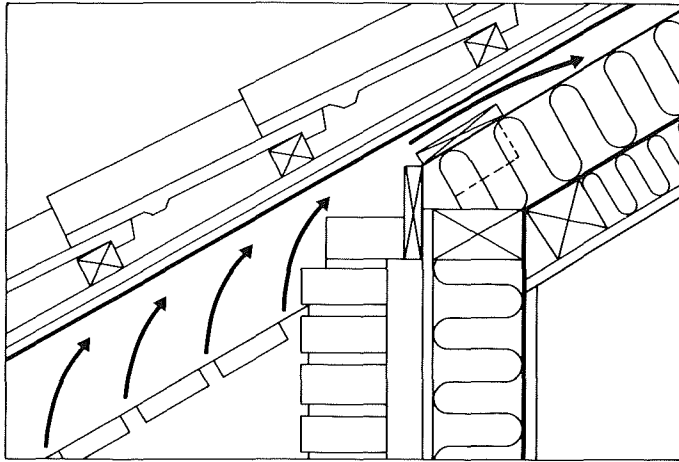
give indesluttet, opvarmet luft og fugt mulighed for at slippe ud af isoleringsmaterialet. Trykudligningshætter skal have forbindelse med luften i isoleringsmaterialet, og skal således føres igennem alle lag tagpap over isoleringen. I ikke lufttætte materialer, f.eks. mineraluld, sker trykudligningen umiddelbart, mens der ved mere tætte materialer, f.eks. skumplastprodukter, kan punktklæbes et lag trykudligningspap lige over isoleringen for at sikre, at luften kan fordele sig, når den ændrer volumen som følge af temperaturændringer. I præfabrikerede tagisoleringsprodukter med lufttætte skumplastplader kan der skabes passage for luften gennem et rillesystem under det på fabrikken påførte første lag pap eller ved riller i skumplastpladernes underside.

Det må kraftigt understreges, at det også i varme tage er nødvendigt, at der på varmeisoleringens varme side er et diffusionstæt og helt lufttæt lag – bedst i form af et lag påklæbet asfaltpap. Ellers opstår en lignende situation som ved kolde tage, at rumluften trænger op og kondenserer i tagkonstruktionen.

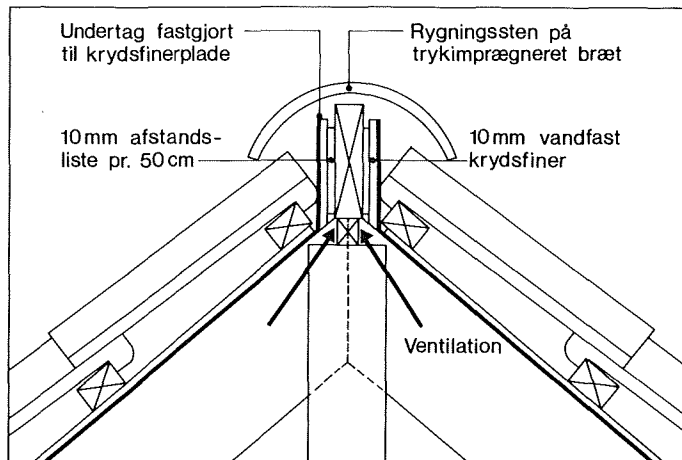
Tegltage udføres nu næsten altid med undertag i stedet for understrygning. Et undertag består normalt af armeret plastfolie eller spærpap – i begge tilfælde er der tale om et diffusionstæt lag anbragt på den kolde side af tagets varmeisolering. Der er en betydelig risiko for kondensation på undertaget, hvis tagkonstruktionen ikke er godt ventileret, og hvis dampspærren på den varme side af isoleringen ikke er korrekt udført.

For at sikre god ventilation må tagfoden udføres korrekt, og der bør etableres yderligere ventilation gennem gavle eller tagrygning. Se figur 78 og 79.

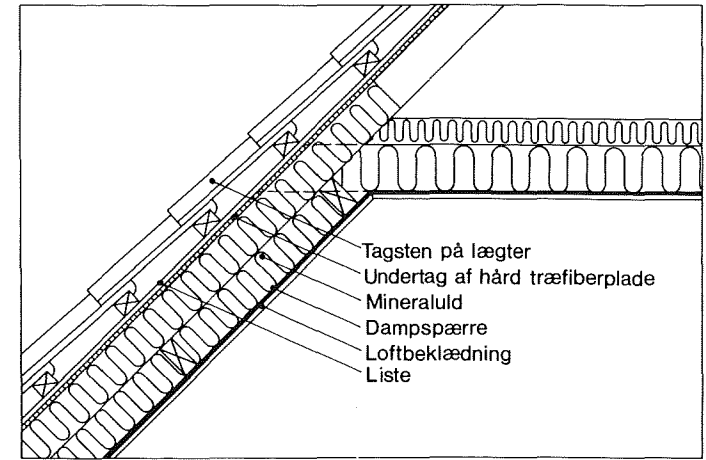
Undertiden kombineres et diffusionstæt undertag med varmeisolerende vingemåtter med diffusionstæt membran. Der skal da udvises særlig omhu med at gøre samlingerne mellem måtternes vinger tætte, eksempelvis kan vingerne klemmes mod spærene med lister, der sømmes pr. 100 mm. Ved måtteender, f.eks. ved tagfod eller stød mellem måttebaner, skal isoleringsmaterialet tildannes, så måttens membran kan samles tæt med tilstødende materiale, f.eks. ved klemt samling. Da det er meget vanskeligt at opnå tæthed med denne konstruktion, anbefales det at supplere med en almindelig dampspærre.



Figur 78. Tagfod ved tegltag med diffusionstæt undertag. Udeluften skal kunne passere frit op gennem hulrummet mellem varmeisoleringen og undertaget. For at sikre tilstrækkelig ventilation skal hulrummet være mindst 50 mm. På figuren er vist et bræt, som fastholder isolationsmaterialet i en passende afstand fra undertaget.



Figur 79. Udluftet tagrygning i et tegltag med diffusionstæt undertag. Rygningsstenene er sømmed i et imprægneret bræt, og undertaget er ført op på nogle små plader af krydsfiner langs brættets sider, holdt i en lille afstand herfra ved hjælp af afstandslister. Ventilationsluften kan således strømme ind ved tagfoden og ud ved rygningen.



Figur 80. Tegltag med diffusionsåbent undertag af olieimprægnerede, hårde træfiberplader sømmed på spærerne. Over pladernes sømninger på spærerne er der anbragt lister, for at vand kan ledes bort under lægterne. Træfiberpladerne er så diffusionsåbne, at udluftning herunder ikke er nødvendig, forudsat at dampspærren på isoleringens varme side er tæt.

Afstanden mellem undertag og varmeisolering skal være mindst 50 mm for at sikre tilstrækkelig ventilation af hulrummet. Hvis undertaget »hænger« mellem spærerne, skal den gennemsnitlige afstand være mindst 50 mm.

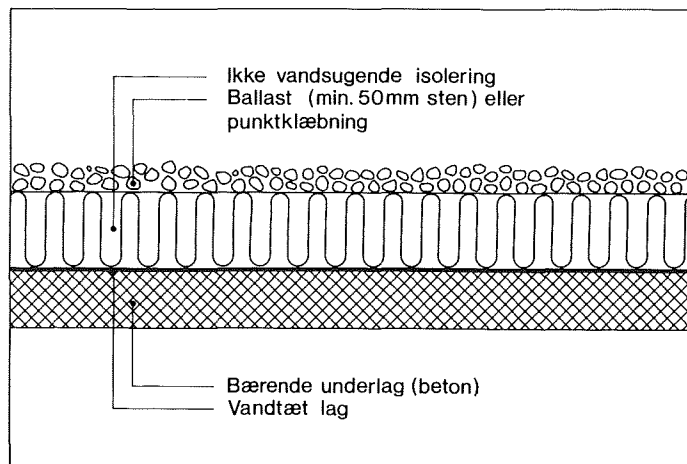
Hvis undertaget udføres af et ikke-damptæt materiale, f.eks. hårde, olieimprægnerede træfiberplader som vist på figur 80, kan det ligge direkte på isoleringen, hvorved der kan spares konstruktionshøjde.

En nyere tagkonstruktion er det såkaldte »omvendte« tag, dvs. et i de fleste tilfælde plant tag, hvor isoleringsmaterialet ligger *oven på* en vandtæt tagbelægning med et fald på mindst 1:40. Isoleringsmaterialet må naturligvis ikke kunne opsuge større vandmængder.

Foruden at varmeisolere beskytter isoleringsmaterialet den vandtætte belægning mod vejrligets påvirkninger, så dens levetid øges væsentligt. Isoleringen fastholdes på taget ved hjælp af et ballastlag af 50 mm sten eller ved punktklæbning kombineret med et lettere beskyttelseslag. Se figur 81.

Tegltag med diffusionsåbent undertag

Omvendt tag



Figur 81. Omvendt tag. Isoleringsmaterialet er anbragt oven på den vandtætte tagbelægning. De væsentligste vandmængder afledes fra tagets overside, men det forudses, at mindre vandmængder kan trænge igennem samlingerne imellem isoleringspladerne og ledes til afløb oven på det vandtætte lag. Isoleringen er dækket med et ballastlag af sten.

På grund af vandets indtrængen under isoleringen må der regnes med, at tagets isoleringsevne nedsættes med ca. 10–20 pct. Omvendte tage anvendes normalt på tagdæk med god varmfordelende og varmeakkumulerende evne, f.eks. beton.

Efterisolering i tagrummet i et koldt tag giver normalt ingen fugtproblemer. Isoleringen kan lægges direkte oven på det eksisterende loft eller isoleringslag. Hvis der i forvejen er et vindtæt, diffusionsåbent lag oven på den eksisterende isolering, vil dette lag i almindelighed kunne blive liggende, uanset tykkelsen af den isolering, der lægges ovenpå. Kun hvor det ved inspektion konstateres, at der er spor af fugtansamlinger på undersiden af det vindtætte lag, skal det fjernes. Det nye isoleringsmateriale skal være mindst lige så diffusionsåbent som det oprindelige. Det betyder, at der f.eks. ikke må udlægges skumplastprodukter oven på mineraluld, da denne materialekombination under uheldige forhold vil kunne føre til kondensation på skillefladen mellem de to isoleringslag.

Udvendig efterisolering

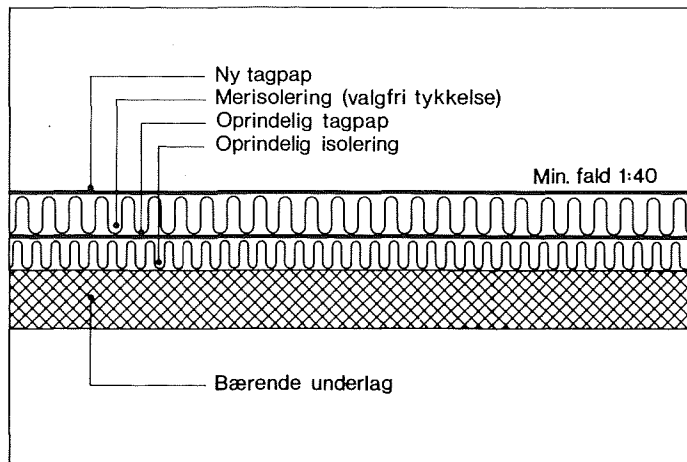
Hvis loftet består af forskallingsbrædder med rør og puds, og pudsen i øvrigt er i god stand, dvs. uden væsentlige revnedannelser, kan man ved efterisolering undlade at udlægge en dampspærre i loftkonstruktionen. Pudslaget er ganske vist ikke særlig diffusionstæt, men til gengæld så lufttæt, at ventilation af tagrummet vil kunne fjerne de mindre fugtmængder, som trænger igennem loftkonstruktionen. Det er vigtigt, at lofttrummet ventileres, og derfor må det kontrolleres, at isoleringsmaterialet ikke blokerer for ventilationsåbninger blandt andet ved tagfoden.

Udvendig efterisolering af et fladt, varmt tag ved anbringelse af et isoleringsmateriale samt en ny tagdækning oven på den eksisterende vil normalt kunne udføres, uden at der foretages yderligere fugttekniske overvejelser. Den gamle tagmembran vil fungere som dampspærre og vil blive varmere end tidligere, og forholdene bliver herved kun gunstigere i fugtteknisk henseende. Se figur 82.

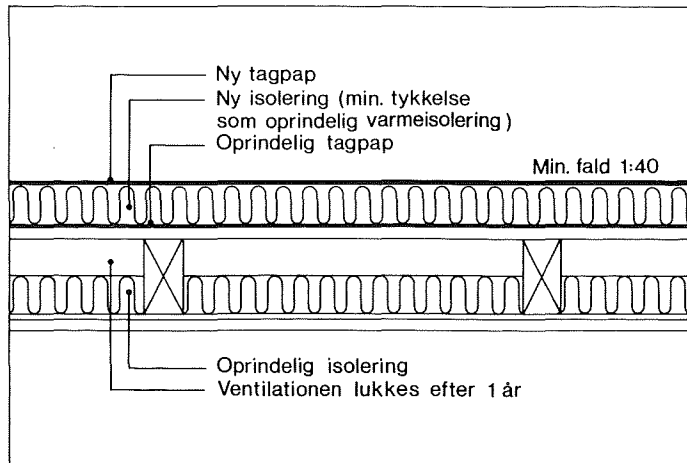
Udvendig efterisolering af et fladt, koldt tag vil ofte kunne klare to problemer på én gang. Først og fremmest vil en udvendig isolering reducere varmetabet gennem taget, men dernæst vil isoleringen hæve temperaturen på det eksisterende tagunderlag, og dermed er risikoen for kondensskader væsentligt reduceret. Se figur 83.

Undersøgelser har vist, at fugtindholdet i et eksisterende tag kan holdes nede på et acceptabelt niveau (mindre end 15 pct. fugtindhold i træ) ved anvendelse af en tilstrækkelig kraftig udvendig efterisolering. Den nødvendige isoleringstykkelse afhænger af fugtforholdene i de underliggende rum. I tage over boliger skal der efterisoleres med mindst samme isoleringstykkelse, som findes i taget i forvejen. I bygninger med større fugtbelastning end i boliger skal isoleringstykkelsen yderligere øges. De nærmere regler for dimensionering af isoleringstykkelsen i sådanne tilfælde må søges i speciallitteraturen.

Ventilationen af et eksisterende taghulrum i et efterisoleret fladt tag bør normalt ikke lukkes før efter ca. et års forløb. Herved sikres, at eventuel fugt i taget når at tørre ud. Ventilationen kan også bibeholdes som en ekstra sikkerhedsforanstaltning, men herved forringes den nye isolerings effektivitet med ca. 30 pct.



Figur 82. Udvendig efterisolering af varmt tag. Den gamle tagbelægning er bevaret og fungerer som dampspærre. For at sikre mod en eventuel vandansamling på den gamle tagflade, må lunger oprettes med et egnet materiale. Og for at sikre afledning af regnvand fra den nye tagflade må merisoleringen kileskæres, hvis det eksisterende tagfald er under 1:40.



Figur 83. Udvendig efterisolering af koldt tag. Også her er den gamle tagbelægning bevaret og fungerer nu som dampspærre. Det er vigtigt at skabe lufttæthed ved alle inddækninger og gennembrydninger i den oprindelige tagflade. I tage over boliger skal der efterisoleres med mindst samme isoleringstykkelse, som findes i taget i forvejen.

Taghældning
mindst 1:40

Bemærk, at ved udvendig efterisolering af såvel varme som kolde tage kan det blive nødvendigt at anvende kileskåret isoleringsmateriale for at få en taghældning på mindst 1:40, der sikrer at vand afledes fra taget. Det bør påses, at eventuelle lunger i den eksisterende tagflade oprettes med et egnet materiale inden udlægning af ny isolering. Formålet med opretningen er, at en eventuel utæthed i den nye tagpap ikke skal forårsage større vandansamlinger på den gamle tagflade.

Litteratur

Der findes en righoldig – især udenlandsk – litteratur om fugt og fugtisolering. Nedenfor er blot nævnt nogle få bøger, som er skønnet særligt værdifulde og har været anvendt ved udarbejdelsen af denne anvisning.

Fukthandbok. Teori, dimensionering, konstruktion. L. E. Nevander og Bengt Elmarsson. Svensk Byggtjänst. Stockholm 1981. 330 s.

Measurements of moisture sorption and moisture permeability of porous materials. A. Tveit. Rapport 45. Norges Byggeforskningsinstitut. Oslo 1966. 39 s.

Mørtel, muring, pudsning. Teknologisk håndbog. H. Dührkop, V. Saretok, T. Sneck og S. D. Svendsen. SBI-anvisning 64, 2. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1981. 448 s.

Fundering af enfamiliehuse og mindre bygninger. C. C. Ballisager. SBI-anvisning 127, 2. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1984. 114 s.

Merisolering. TOR-anvisning nr. 11. Tagpapbranchens Oplysningsråd. Virum 1982. 64 s.

SBI's »gule serie« af anvisninger indeholder forhåndsgodkendte eksempler på, hvordan bygningsreglementets krav kan opfyldes. Hidtil er udgivet anvisninger med relation til følgende kapitler i Bygningsreglement:

Kapitel 5. Konstruktive bestemmelser

SBI-anvisning 110: Konstruktioner i beboelsesbygninger med indtil 2 etager. Eksempler på dimensionering og udførelse. 2. reviderede udgave 1981. 76 sider + tillæg. A5. Kr. 45,75 inkl. 22 pct. moms.

SBI-anvisning 122: Godkendelses- og kontrolordninger for byggevarer. 1979. 40 sider. A5. Kr. 19,50 inkl. 22 pct. moms.

Kapitel 7. Fugtisolering

SBI-anvisning 109: Bygningers vådrum. Gulve på træbjælkelag og beklædninger på skeletvægge. 3. udgave 1984. 44 sider. A5. Kr. 34,75 inkl. 22 pct. moms.

SBI-anvisning 139: Bygningers fugtisolering. 1984. 100 sider. A5. Kr. 66,50 inkl. 22 pct. moms.

Kapitel 8. Varmeisolering

SBI-anvisning 111: Bygningers varmeisolering. 1977. 4. oplag 1980. 40 sider. A5. Kr. 17,10 inkl. 22 pct. moms.

Kapitel 9. Lydforhold

SBI-anvisning 112: Bygningers lydisolering. Nye bygninger. 2. udgave 1983. 124 sider. A5. Kr. 72,00 inkl. 22 pct. moms.

SBI-anvisning 136: Bygningers lydisolering. Ældre bygninger. 1983. 100 sider. A5. Kr. 66,50 inkl. 22 pct. moms.

Anvisningerne fås i boghandelen eller direkte fra SBI, telefon 02-86 55 33.

Statens Byggeforskningsinstitut
Postboks 119, 2970 Hørsholm

Denne SBI-anvisning indeholder den grundlæggende viden om luftfugtighed og om byggematerialers fugtindhold og udtørring. Endvidere beskriver den, hvordan fugtskader forebygges, og der er især lagt vægt på at vise, hvorledes det kan forhindres, at fugtig rumluft strømmer ud i de omgivende bygningsdele og kondenserer her. Anvisningen er illustreret med mange eksempler på fugtteknisk korrekte udformninger af konstruktionerne i kældre, krybekældre, terrændæk, ydervægge, vinduer og tage.



Anvisningen indgår i SBI's »gule serie«, der knytter sig til bygningsreglementet, og erstatter de 8 SBI-fugtpjecer hvortil der er henvist i boligministeriets vejledning til Bygningsreglement 1982.

