

Bygningers fugtisolering



SBI-ANVISNING 178 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1993



BYGNINGERS FUGTISOLERING

NILS ERIK ANDERSEN
GEORG CHRISTENSEN
FLEMING NIELSEN



SBI-anvisninger er forskningsresultater bearbejdet til brug ved planlægning, projektering, udførelse, drift og vedligehold af bygninger og bebyggelser.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Institutets årsberetning og publikationskatalog er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0828-0.

ISSN 0106-6757.

Pris: Kr. 125,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 8.000.

Tegninger: Annette Juul Muusfeldt og Bente Pedersen.

Omslag: Henning Holmsted.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Statens Byggeforskningsinstitut,

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-anvisning 178: Bygningers fugtisolering. 1993.

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		18
Fugtligevægt		19
Dimensionsændringer af træ		25
Diffusion		27
<i>Fugtmåling</i>		34
Måling af relativ luftfugtighed		34
Måling af fugtindhold i byggematerialer		37
<i>Fugt i bygninger</i>		40
Grundfugt		41
Nedbør		41
Luftfugt og kondensation		42
Luftfugt og ventilation		45
Udtørring af byggefugt		46
<i>Fugt og kældre</i>		49
Renovering af fugtige kældre		56
<i>Fugt og krybekældre</i>		61
<i>Fugt og terrændæk</i>		71
<i>Fugt og ydervægge</i>		78
<i>Fugt og vinduer</i>		87
<i>Fugt og tage</i>		93
<i>Litteratur</i>		111

I bygningsreglementerne foreskrives, at bygninger skal konstrueres og udføres på en sådan måde, at fugtskader undgås. Denne anvisning giver eksempler på, hvorledes konstruktioner kan udformes fugtsikre. Desuden indeholder den grundlæggende viden om luftfugtighed, materialernes fugtlige-vægtstilstand og beregning af fugttransport, således at læseren sættes i stand til at bedømme også andre konstruktionsudformninger end de viste, samt til at foreslå udbedring af konstaterede fugtskader.

Anvisningen afløser SBI-anvisning 139: »Bygningers fugtisolering«, der udkom i 1984.

SBI har i forbindelse med revisionen af anvisningen været i kontakt med en række fagfolk fra byggeindustrien og SOFUS-BYG og vil i den anledning gerne rette en tak til de mange, der er fremkommet med kommentarer og forslag til ændringer.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Materialer og Konstruktioner, juni 1993
Georg Christensen, forskningschef

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, fordamper 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 fx 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 til 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.

Vanddampdiagram

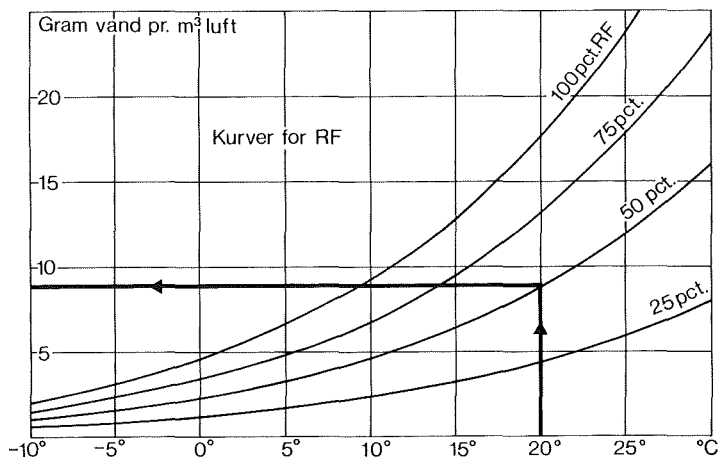
Luftens fugtindhold

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. Det fremgår af diagrammet, at ved 0 °C kan 1 m³ luft indeholde ca. 4,5 g vanddamp, medens den ved fx 20 °C kan indeholde ca. 17,5 g vanddamp.

Ude- og indeluften indeholder så godt som aldrig den størst mulige mængde vanddamp. Kun i tåge og regnvejr er udeluften mættet med vanddamp. Hvis luft ved 20 °C 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. Det er den relative luftfugtighed, der angiver, hvor »fugtig« luften er, og hvor fugtig den føles. Den relative luftfugtighed forkortes RF.

Vanddampdiagrammet viser vanddampindholdet ved varierende temperatur og RF. Hvert punkt i området op til

Relativ luftfugtighed RF



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.

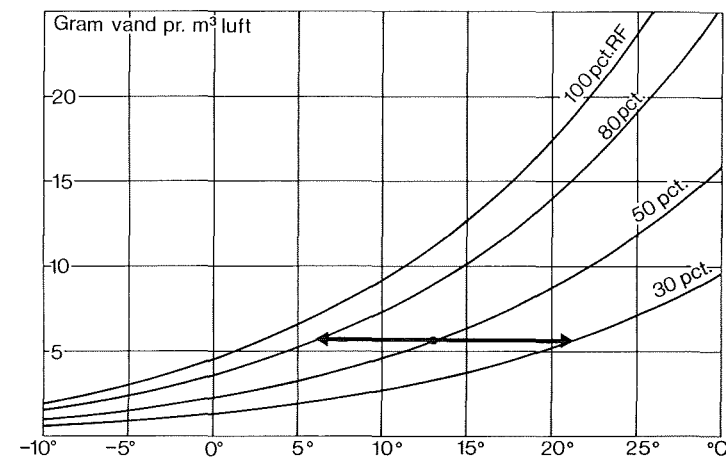
Diagrammet findes i stort mål som udfoldningsark på indersiden af bageste omslag.

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

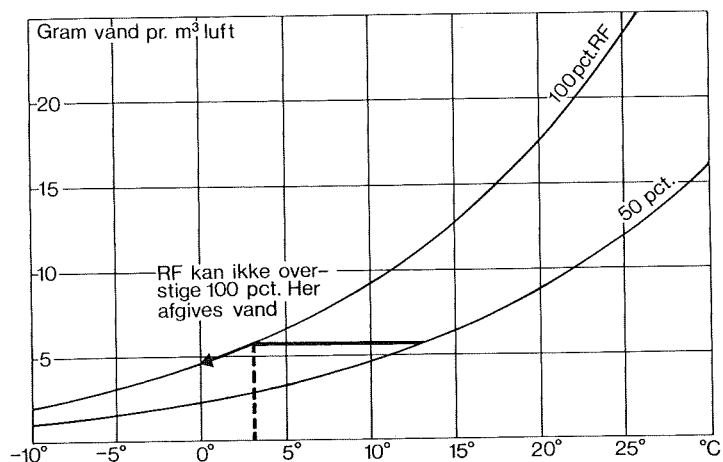
den øverste kurve svarer til luft med en bestemt temperatur (°C), et bestemt fugtindhold (g/m³) og en bestemt RF (pct.). Hvis man kender to af disse størrelser, kan den tredje aflæses af diagrammet. Hvis man eksempelvis har målt temperaturen til 20 °C og RF til 50 pct., kan man aflæse i diagrammet, at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

Når man foretrækker at angive den relative luftfugtighed i stedet for den absolutte (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. Hvis 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 oprindelig 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, fx 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.

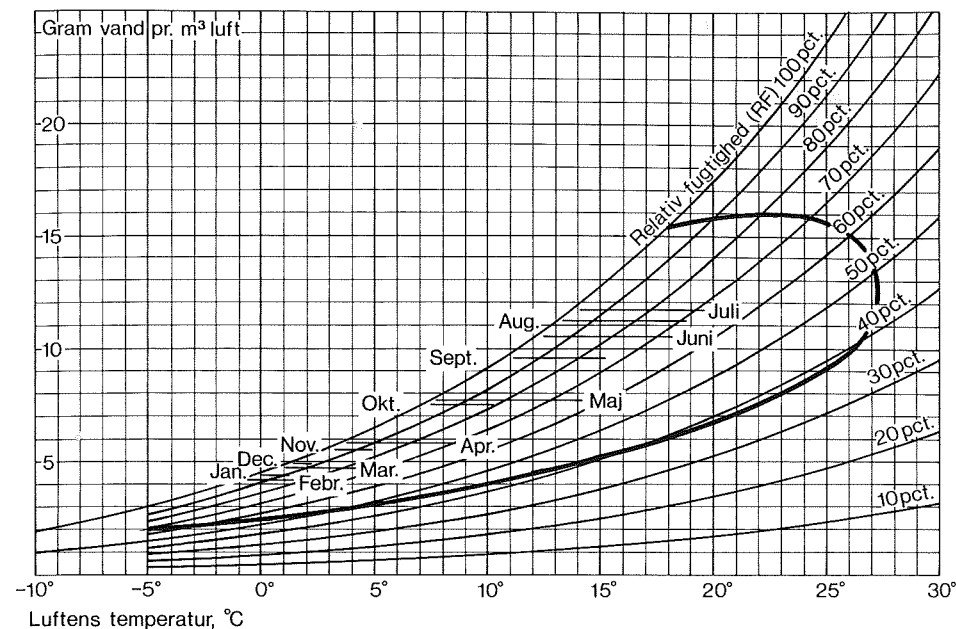
Afkøles længere ned end til dugpunktet, udskilles vand, idet luften kun kan indeholde den vanddampmængde, der svarer til RF = 100 pct.

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



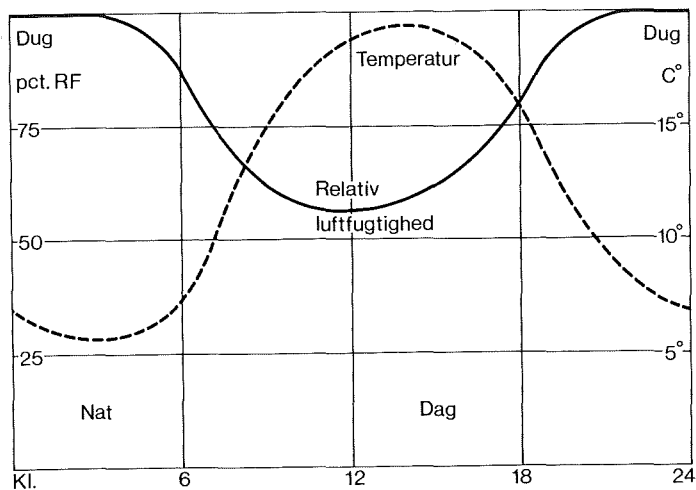
Figur 4. Udeluftens temperatur, vanddampindhold og den relative fugtighed RF varierer gennem hele året inden for det område, som er begrænset af den øverste kurve i vanddampdiagrammet og den kraftige linie. Diagrammet er udført på basis af meteorologiske observationer hver time døgnet rundt i en 15 års 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. Se også figur 5.

Luftfugtigheden varierer i døgnet

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 varmeudstrålingen 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.

Vejrets indflydelse

I varmt og fugtigt sommervejr kan luftens fugtindhold være op til 15 g/m³, men efter passage af en koldfront kan fugtindholdet falde til fx 8 g/m³.



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 fx 50 pct. ved middagstid. Grunden til den store variation i relativ luftfugtighed er, at luftens absolutte vanddampindhold er næsten konstant døgnet rundt.

Indeklima

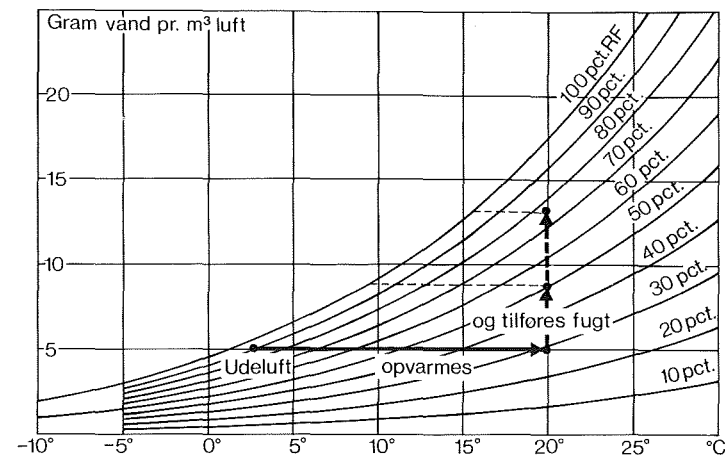
Udeluftens indhold af vanddamp er som nævnt lavt om vinteren. Når den kolde luft føres ind i opvarmede rum, opvarmes den, og den relative luftfugtighed falder derfor kraftigt, som det kan aflæses på vanddampdiagrammet i figur 6.

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.

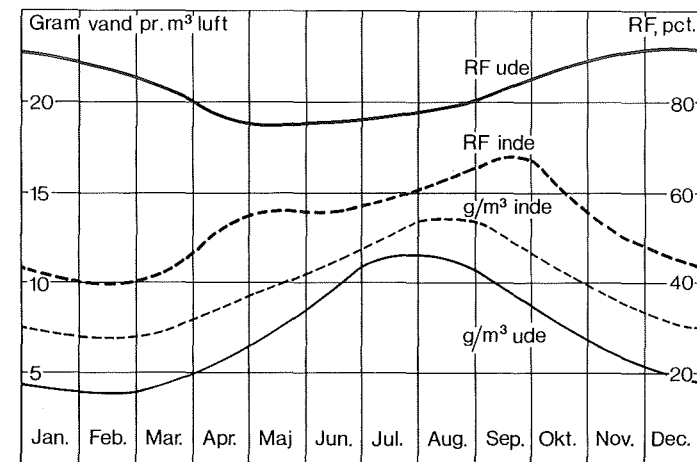
Luften i et opvarmet, beboet rum vil således indeholde mere vanddamp end udeluften. Dette forhold er afgørende for forståelsen af hvorledes bygningskonstruktioner skal opbygges. Det betyder også, at udluftning altid fjerner vanddamp fra rummet, selv i regnvejr.

Figur 7 viser den gennemsnitlige variation af luftfugtigheden ude og inde gennem hele året.

Indeluften tilføres fugt



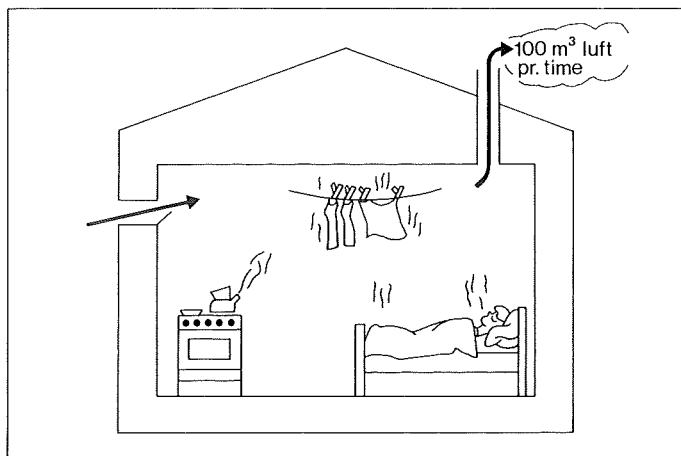
Figur 6. Når den kolde udeluft om vinteren – her vist med 90 pct. RF og et vandindhold på 5 g pr. m³ – kommer ind i et opvarmet rum, falder den relative luftfugtighed kraftigt. Samtidig tilføres der vanddamp fra personer, planter m.m. Hvis RF bliver høj, stiger dugpunkttemperaturen, og der bliver risiko for kondens på vinduer og uisolerede ydervægge.



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 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.

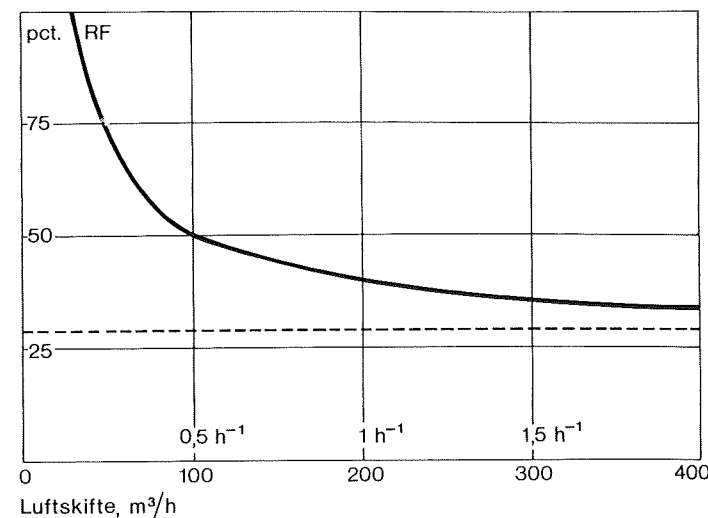
I et tæt tillukket rum, hvori der opholder sig mennesker, vil luften hurtigt blive mættet med vanddamp, og der vil opstå kondensproblemer. Det er derfor nødvendigt med et vist luftskifte for at holde den relative luftfugtighed nede på et acceptabelt niveau. Et luftskifte på omkring $\frac{1}{2}$ gang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

Et anbefalet tal for luftskifte er 7 l/s pr. person, hvad der svarer til $25 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. person. Da en person afgiver ca. 50 g vanddamp i timen, vil der altså blive tilført luften $2 \text{ g}/\text{m}^3$.



Figur 8. Fugttilførsel og nødvendigt luftskifte. Hvis rumluften er 20°C med 50 pct. RF, indeholder den ca. 9 g pr. m^3 . Hvis udeluften indeholder 5 g vand pr. m^3 , fjernes der altså 4 g vand for hver m^3 indeluft, der udskiftes med udeluft. En familie på 4 personer tilfører rumluften ca. 10 l ($= 10.000 \text{ g}$) vand i døgnet. For at fjerne dette skal luftskiftet altså være $10000 : 4 = 2500 \text{ m}^3$ pr. døgn eller ca. 100 m^3 pr. time. Er boligen 80 m^2 med rumhøjde $2,5 \text{ m}$, i alt 200 m^3 , 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 m^3 udskiftet luft pr. time, vil der indtræde balance mellem luftfugtighed ude og inde ved ca. 75 pct. RF ($= 13 \text{ g}$ vand pr. m^3 indeluft ved 20°C), hvilket er uacceptabelt.



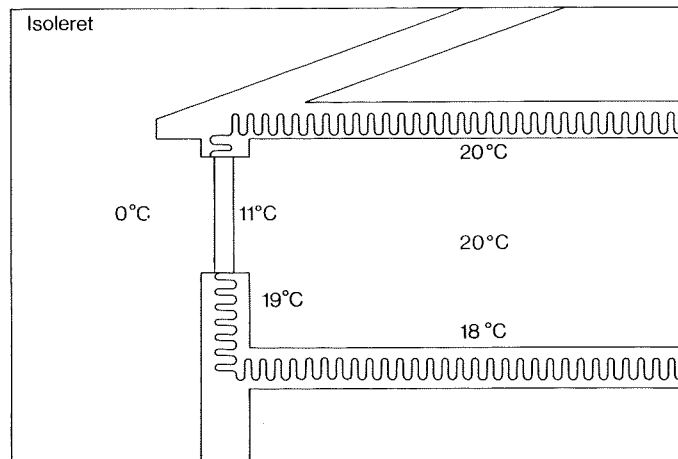
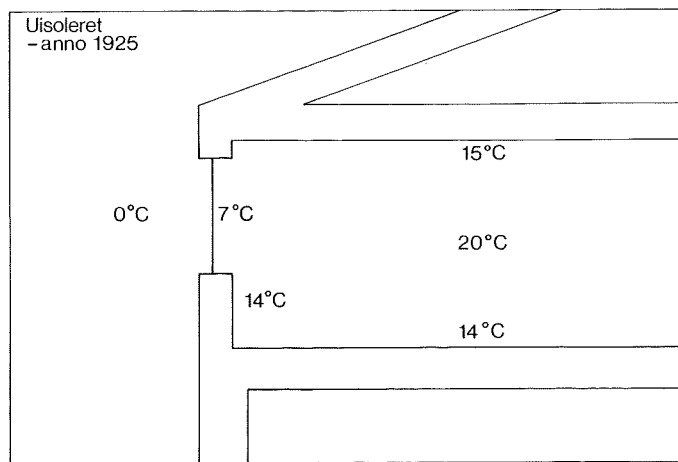
Figur 9. Relativ luftfugtighed som funktion af luftskiftet. Kurven er beregnet for en almindelig bolig på 200 m^3 og i øvrigt med udeluft og fugttilførsel som anført i figur 8. Hvis luftskiftet reduceres til under $0,5$ gange (rumfanget) i timen, stiger luftfugtigheden kraftigt, og der vil hurtigt opstå 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. m^3 opvarmes til 20°C .

Overfladekondens

I et rum med en høj relativ luftfugtighed vil der være stor risiko for, at luften lokalt – fx 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.

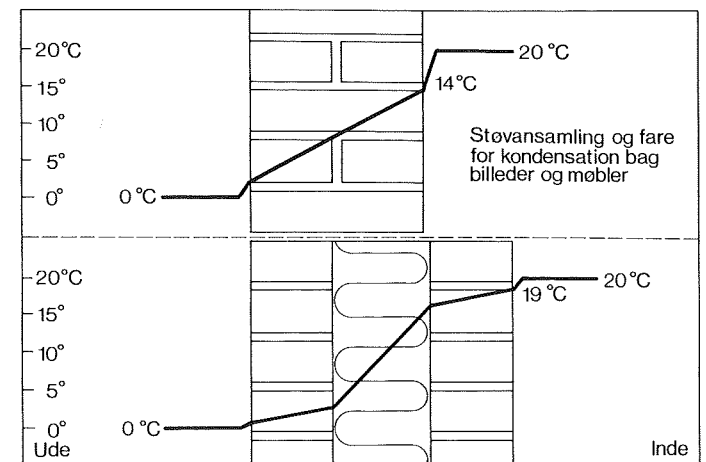
Da vinduesruderne i et rum sædvanligvis er det koldeste sted i rummet, kan man i praksis bruge den regel, at der skal udluftes så meget, at vinduer med to lag glas ikke dugger. Se figur 10.

Dug på
vinduesruder



Figur 10. For rumluft med 20°C og 50 pct. RF er dugpunkttemperaturen 9°C, se figur 6. 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. På figur 6 ses også, at såfremt RF er 75 pct., er dugpunkttemperaturen 16°C, hvilket indebærer, at der er risiko for kondens på en uisoleret ydervæg.

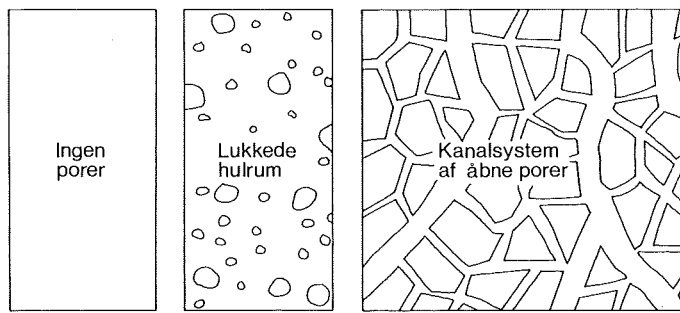
Kondens på vægge



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 hulmursisolering har praktisk taget samme indvendige overfladetemperatur som den massive mur, og det betyder, at der er fare for kondensation, især bag ved fx billeder og møbler.

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 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 er der risiko 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.



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

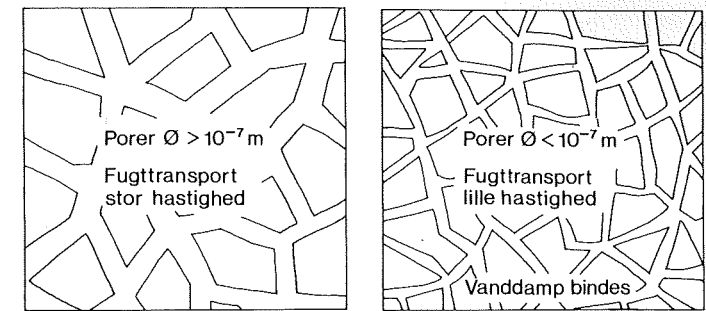
Fugt i byggematerialer

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.

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 pore-systemet mere eller mindre fyldt med vand, og den relative luftfugtighed er 100 pct.

Kapillarsugende materialer Nogle byggematerialer er født våde, fx 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 fx 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.



Figur 13. Træ, tegl og beton er gennemkrydset af et system af porer eller kapillarer, hvorigennem 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 opslugning og udtørring sker desto hurtigere, jo grovere materialets porer er.

Kapillarbrydende materialer

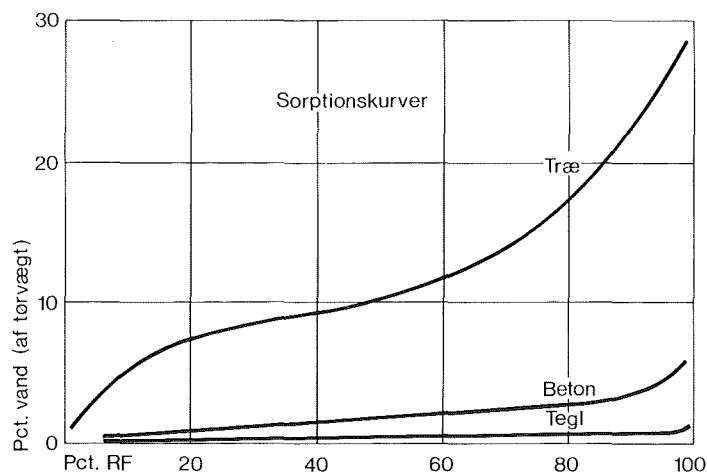
Materialer kaldes kapillarbrydende, hvis de ikke er i stand til at suge vand. Det kan enten være materialer med meget grove porer, fx et lag ærtesten eller singels, hvor stenene vel at mærke ikke må være sugende i sig selv, eller det kan være finporede materialer, som er gjort vandafvisende, fx mineraluld 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 umiddelbart forekommer at være tørre. Vandindholdet afhænger af den omgivende lufts relative fugtighed og af materialets porestruktur.

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 el-

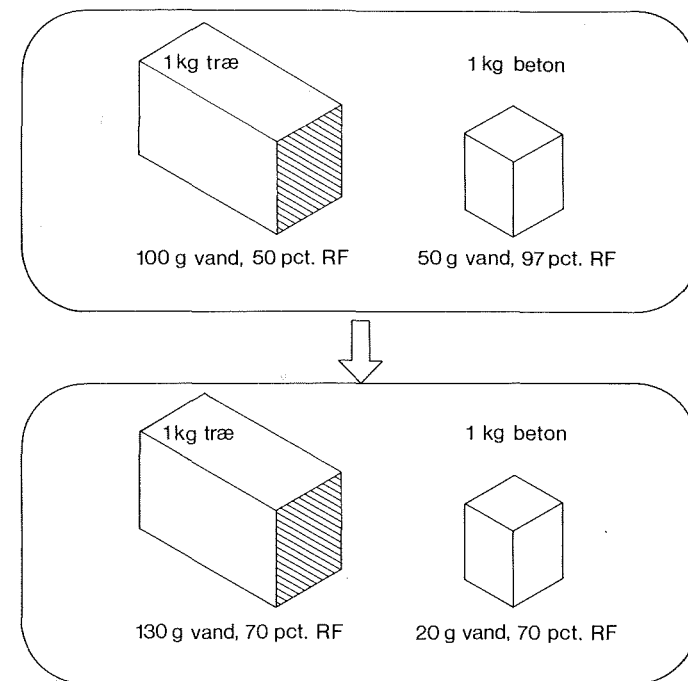
Fugtligevægtskurve



Figur 14. Fugtligevægtskurver (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., fx 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 er vandindholdet i træ ca. 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. Bemærk, at da træets fugtindhold angives i pct. af træets tørvægt, kan fugtindholdet blive over 100 pct. – op til omkring 200 pct. afhængig af træsorten.

ler sorptionskurver, se figur 14. Et materiales vandindhold angiver vægten af det optagne vand i procent af materialets tørvægt. Et materiale med lille rumvægt kan således meget vel indeholde mere end 100 pct. vand – træ fx op til ca. 200 pct.

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 vandfyldte ved høj relativ luftfugtighed på grund af såkaldt kapillarkondensation.



Figur 15. Eksperiment til illustration af fugtligevægt. Øverst: I en plasticpose anbringes en træklods med tørvægt 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 tørvægt 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.

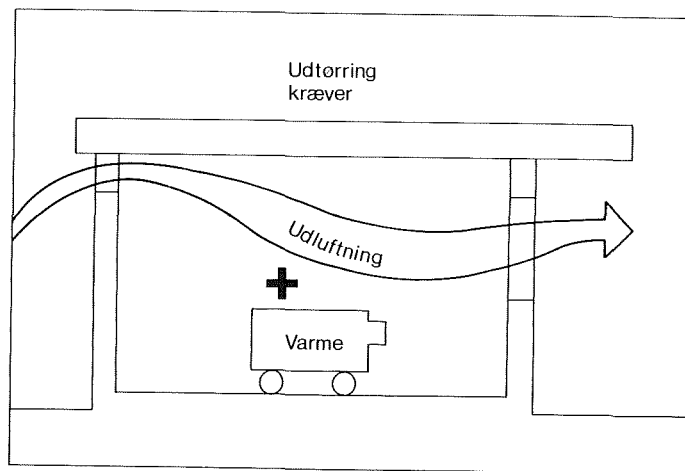
Nederst: Da betonen afgiver fugt, vil træet nu optage fugt, og denne fugtvandring vil fortsætte, indtil ligevægt indtræder, når begge materials vandindhold svarer til luft med samme RF. Det sker ved ca. 70 pct. RF, hvor vandindholdet i træ er 13 pct. og i beton 2 pct. I alt flyttes 30 g vand fra beton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

Eksemplet illustrerer, hvad der sker, når et trægulv lægges oven på en ikke udtørret beton uden fugtspærre.

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.

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.

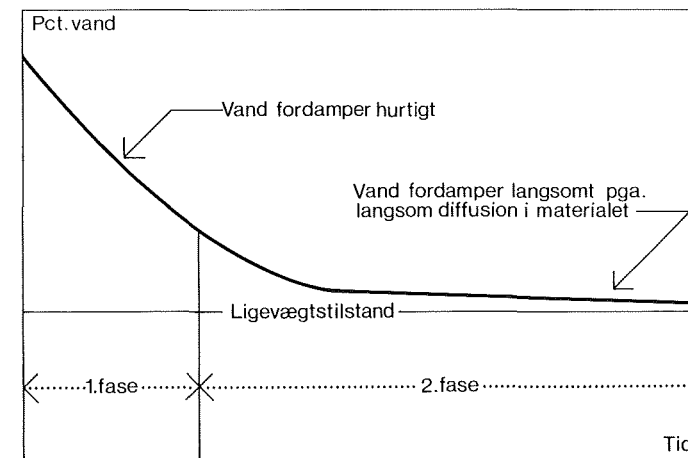


Figur 16. Udtørring af byggefugt sker ved kombination af opvarmning og udluftning. Den varme luft optager vand fra de våde materialer og bliver derved fugtig. Når den fugtige luft fjernes ved ventilation og erstattes af ny luft, som opvarmes, fortsætter fugtafgivelsen. Til udtørring benyttes også kondensstørring og absorptionstørring, se side 46-48.

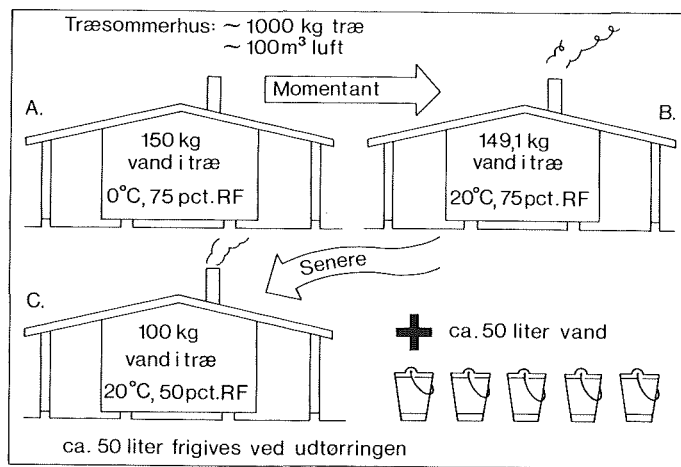
Fugtstødpude

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

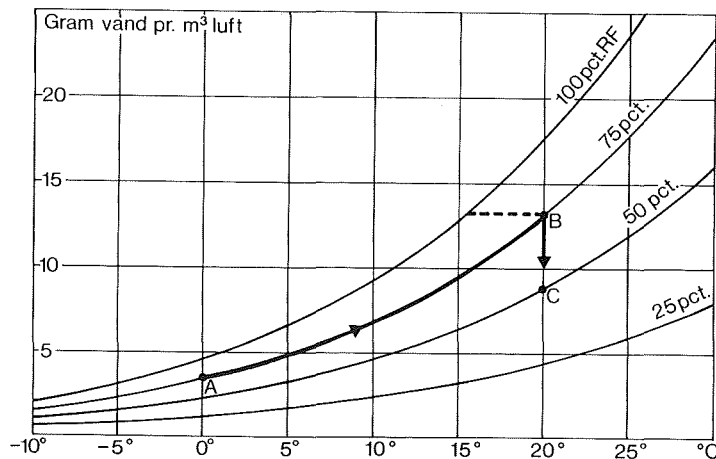
Porøse materialers evne til at optage fugt fra relativ fugtig luft og til at afgive fugt til relativ tør luft betyder, at de virker som fugtstødpude, og det giver i mange tilfælde en fordelagtig regulering af luftfugtigheden. Materialerne kan for eksempel virke dæmpende på luftfugtigheden i et lokale, hvor der midlertidigt fordampes en større mængde vand ved, at mange mennesker forsamlles. Et tilsvarende fænomen er den regulering af rumtemperaturen, som finder sted i lokaler, som be-



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.



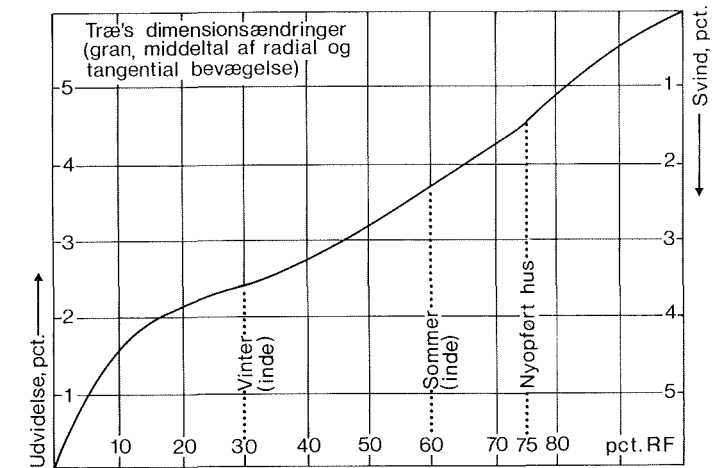
Figur 18. Træ som fugtstødpude. I et koldt sommerhus vil træværket om vinteren måske have optaget 15 pct. vand, svarende til 75 pct. RF i rumluften (A i vanddampdiagrammet nedenfor). Varmes huset nu op til 20°C, vil luftens fugtindhold stige fra 4 til 13 g vand pr. m³, idet træet vil søge at opretholde 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.



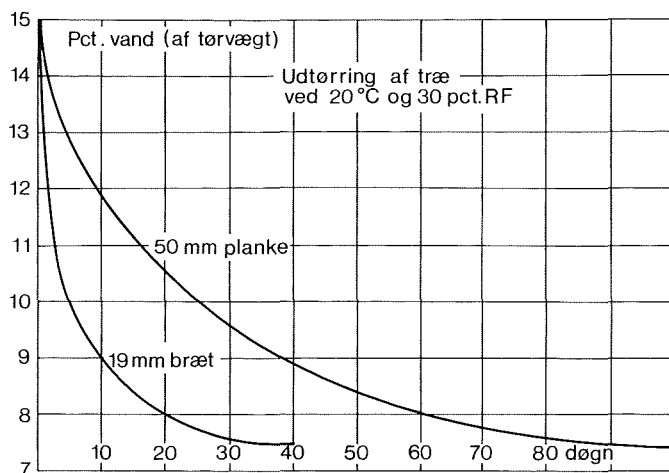
grænses af tunge materialer med stor varmeakkumulation, idet disse materialer virker som varmestødpude. I visse tilfælde kan porøse materials evne til at optage fugt dog få en ugunstig virkning på luftfugtigheden, se figur 18.

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 betydelig kraftigere, hvis det bringes ind i huset, inden dette er lukket og rimeligt tørt. Se figur 19 og 20.



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. Udtøringsforløb for træ. Udtøringshastigheden 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 fx 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.

Måling af vanddampdiffusion

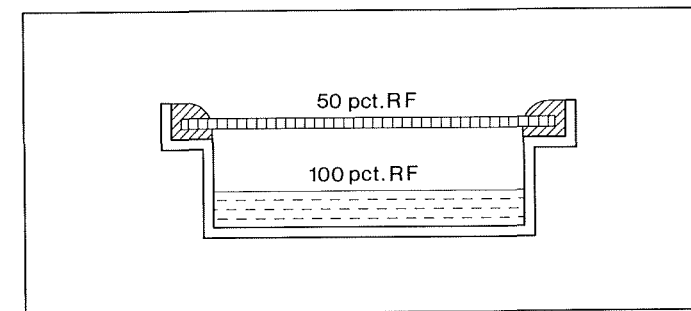
Diffusion

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 materialers porer. Denne form for dampvandring kaldes diffusion. Diffusionen er langsommere i materialer end i fri luft.

Anbringes et materiale som skillevæg mellem to rum med forskelligt vanddampindhold i luften, vil vanddampen diffundere gennem materialet (porerne), og man kan måle, hvor meget vanddamp der vandrer gennem materialet i et givet tidsrum.

I praksis foregår målingen på den måde, at materialet anbringes som låg på en metaldåse, hvor der inden i dåsen holdes ét klima (fx ved at der står vand i bunden af dåsen) og uden for dåsen et andet klima (fx ved at dåsen anbringes i et rum med en bestemt temperatur og en bestemt relativ luftfugtighed, et såkaldt klimarum).

Derefter vejes dåsen med mellemrum, og det kan således konstateres, hvor mange gram vand der er vandret op gennem materialeprøven pr. tidsenhed. Se figur 21.



Figur 21. Måling af vanddampdiffusion. Materialet, hvis vanddampgennemtrængelighed skal måles, anbringes som låg på en metaldåse. I dåsens bund er vand, således at RF inde i dåsen er 100 pct. Dåsen anbringes i et klimarum med konstant temperatur og konstant RF, fx 50 pct. Med mellemrum vejes dåsen, så det kan konstateres, hvor mange gram vand, der er diffunderet op gennem materialeprøven i et givet tidsrum. Denne metode betegnes »wet cup«-metoden og anvendes til måling på materialer, som anvendes udendørs (på den kolde side af konstruktionen).

Krumning af træbjælker

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 ligevægt med RF inde ved dampspærren. 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.

Vanddampgennemtrængeligheden angives fx som antal gram vanddamp, der går gennem 1 m² af materialet (i en given tykkelse) pr. time, når forskellen i vanddampindholdet i luften på de to sider af materialet er 1 g/m³. Herved fås enheden

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

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:

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

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

Vanddamp-
diffusions-
modstand

Ved fugttekniske beregninger benyttes som regel materia- lernes vanddampmodstand – også kaldet diffusionsmod- standstal. Værdien for denne størrelse, som er den reciprokke af vanddampgennemtrængeligheden, er også angivet i tabel- len 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 ma- terialets Z-værdi.

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

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

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

Vanddampgennemtrængelighed og vanddampmodstand for byggematerialer. Mange mate- rialers vanddampmodstand er mindre, jo større den relative luftfugtighed er. For materia- ler, 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.

Byggemateriale	Tykkelse mm	Vanddamp- gennemtrængelighed		Vanddamp- modstand	
		SI-enhed		SI-enhed	
		kg/m ² s	g/m ² h	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

Eksempel på beregning af vanddamp-diffusion

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

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

For hulmuren bliver vanddampgennemtrængeligheden:

200 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:

med teglsten 0,05 (10-5) 100 · 24 = 600 g/døgn

med plastfolie 0,002 (10-5) 100 · 24 = 24 g/døgn

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

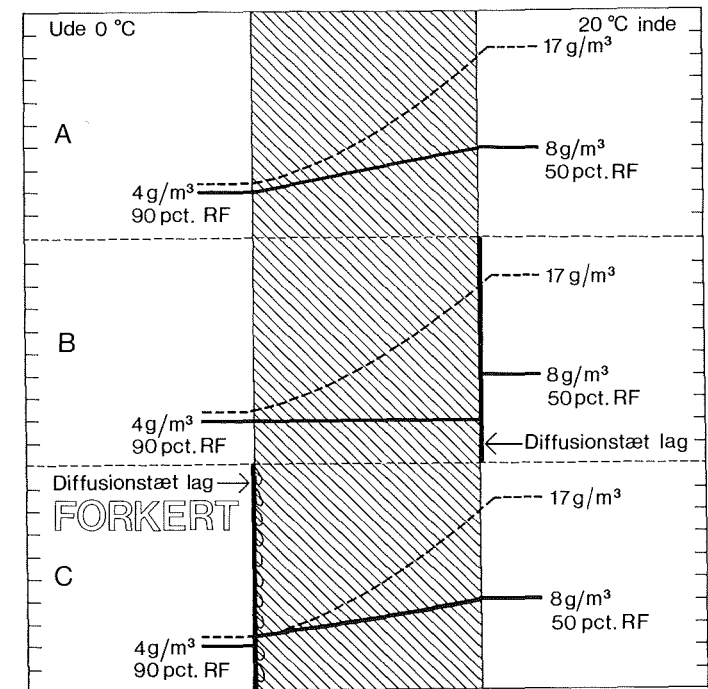
Ordene dampspærre, dampbremse og fugtspærre anvendes ofte som synonymer. I denne anvisning benyttes dampspærre til at betegne en folie eller pap, som udover at forhindre diffusion også skal være lufttæt, dvs. at samlingerne mellem banerne ikke må tillade luftgennemstrømning. Fugtspærre benyttes til at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

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.

Dampspærre
Dampbremse

Fugtspærre

Kondensation
som følge af
diffusion



Figur 22. Diffusion af vanddamp gennem en homogen ydervæg, fx porebeton. 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.

A. Væggen uden diffusionstæt lag. Fri diffusion.

B. Diffusionstæt lag på indersiden bremser vanddampen.

C. Forkert konstruktion. Diffusionstæt lag på den kolde yderside bremser vanddampen, og mætningskoncentrationen nås. Der sker kondensation i væggen, som herved skades af fugt, og isoleringsevnen forringes.

Diffusionstætte
lag

For at undgå kondens inde i en konstruktion anvendes ofte diffusionstætte lag på konstruktionens varme side, se figur 22.

Hvis et tag eller en ydervæg fejlagtigt har mere diffusionstætte lag udvendigt end indvendigt, opstår der kondensation om vinteren, se figur 22 nederst. Rumluftens vanddamp diffunderer ind i konstruktionen, men bremses ved det udvendige, tætte lag, hvor temperaturen er lav. For lagdelte konstruktioner, fx pladebeklædte skeletvægge, gælder at den ind-

Beregnings-
programmer

Fugts betydning
for isolerings-
evnen

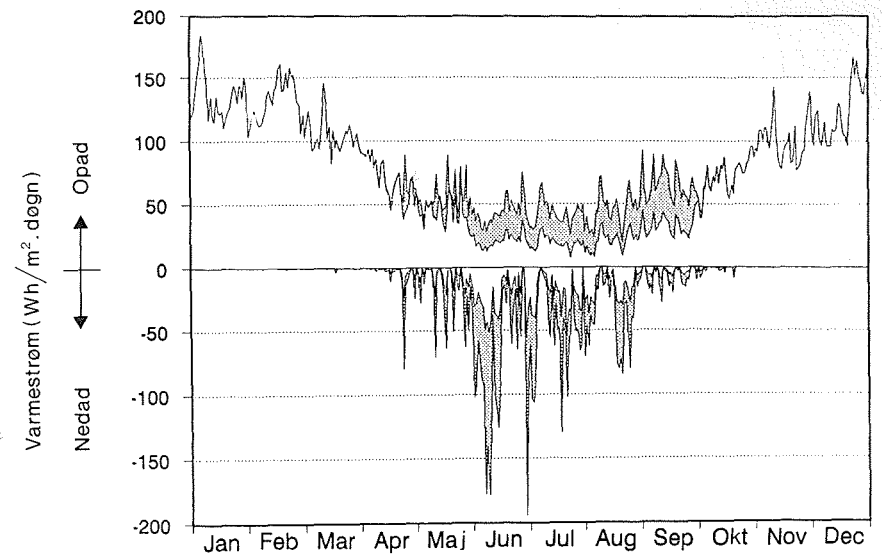
vendige side af væggen bør være mindst ti gange så diffusionstæt som den udvendige, dvs. at vanddampmodstanden skal være ti gange så stor indvendigt som udvendigt.

Der findes i dag edb-programmer til samtidig beregning af fugt- og varmemestrøm i konstruktioner.

Som eksempel omtales nedenfor og i figur 23 resultatet af en beregning af fugtens bidrag til varmetransporten gennem en tagisolering af mineraluld.

Varmetransmissionen gennem et isoleringsmateriale forøges, hvis der er fugt i isoleringen. Hvor meget afhænger bl.a. af, om isoleringsmaterialet er sugende eller vandafvisende og af materialets porøsitet. For mineraluld, som er vandafvisende og meget porøs, gælder, at eventuelt tilstedeværende vand vil fordampe fra den varme side af isoleringen og derefter kondensere på den kolde side, hvor vandet vil samles uden at kunne suges tilbage. Hvis fugten kan slippe videre ud, vil mineralulden tørre ud, fx i en hulmur.

Hvis mineralulden derimod er lukket inde mellem to tætte lag, fx tagbelægning og dampspærre i en tagkonstruktion, vil varmemestrømmen og dermed fugttransporten om sommeren skifte retning mellem dag og nat, således at vandet vil blive transporteret skiftevis op og ned. Den vandmængde, der kan transporteres i løbet af en dag eller en nat, er ca. 0,1 volumenprocent, hvilket medfører en fordobling af λ -værdien. Imidlertid viser beregningerne, at vandtransporten i virkeligheden kun finder sted i sommermånederne, og derfor forøges det årlige varmetab kun nogle få procent (se figur 23).



Figur 23. Eksempel på beregning af fugtens bidrag til varmetransporten gennem en tagisolering af mineraluld i et uventileret tag.

Kurverne viser de daglige opadrettede og nedadrettede varmemestrømme. Om sommeren er der både op- og nedadrettede varmemestrømme. De skraverede arealer svarer til den del af varmestømmene, som skyldes fordampning. I beregningen er forudsat 1 volumenprocent vandindhold i isoleringen, og der er regnet time for time ved anvendelse af referenceåret.

Kurverne viser, at der ikke er noget bidrag til varmetransmissionen fra fugten om vinteren, idet fugten da er samlet i oversiden af isoleringen. Først i april og maj begynder fugten at deltage i varmetransmissionen, og i løbet af juni er al fugten »trykket« ned i bunden af isoleringen. Herefter er det kun den lille del af fugten, der kan diffundere op i løbet af natten, som kan drives ned igen af solen i formiddagstimerne. I september flyttes fugten så igen op til oversiden af isoleringen med øget varmetab i denne måned til følge. Det samlede resultat er, at fugtindholdet kun forøger det årlige varmetab med nogle få procent i det foreliggende tilfælde.

Beregningen er udført med regneprogrammet MATCH, der er udviklet af Carsten Rode.

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.

Oftentimes kan problemet imidlertid bedømmes, uden at man foretager en eksakt måling. Optræder der fx 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.

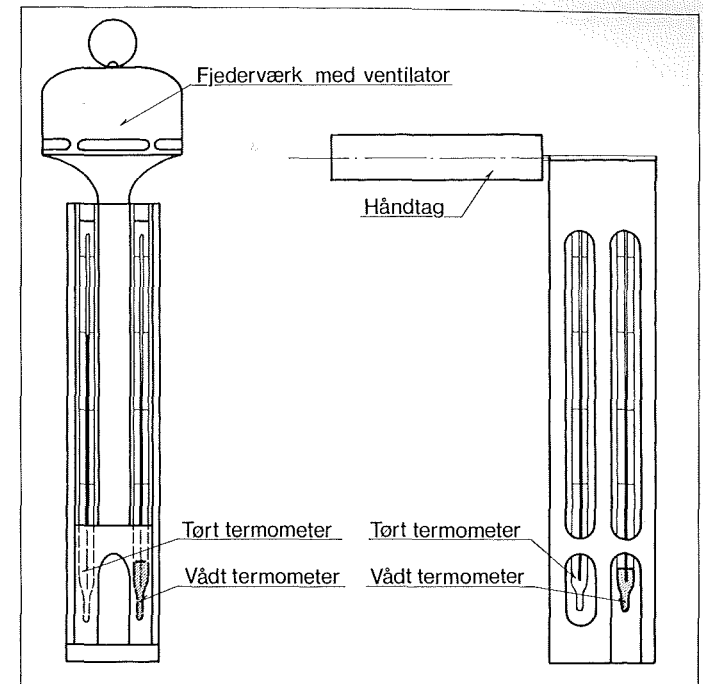
Fugtmåling kan være måling af luftens relative fugtighed eller måling af fugt i byggematerialer.

Alle fugtmålinger kræver stor erfaring og øvelse for at give et pålideligt resultat.

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, se figur 24 til venstre. 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 fordamper, forbruger fordampningsvarme og derfor afkøler ter-



Figur 24. 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 fjederværnede 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.

mommetret. Forskellen mellem temperaturerne på de to termometre har en nøje sammenhæng med luftens relative fugtighed, der kan findes i 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.

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, se figur 24 til højre.

Slyng-
psykrometer

Aspirations-
psykrometer

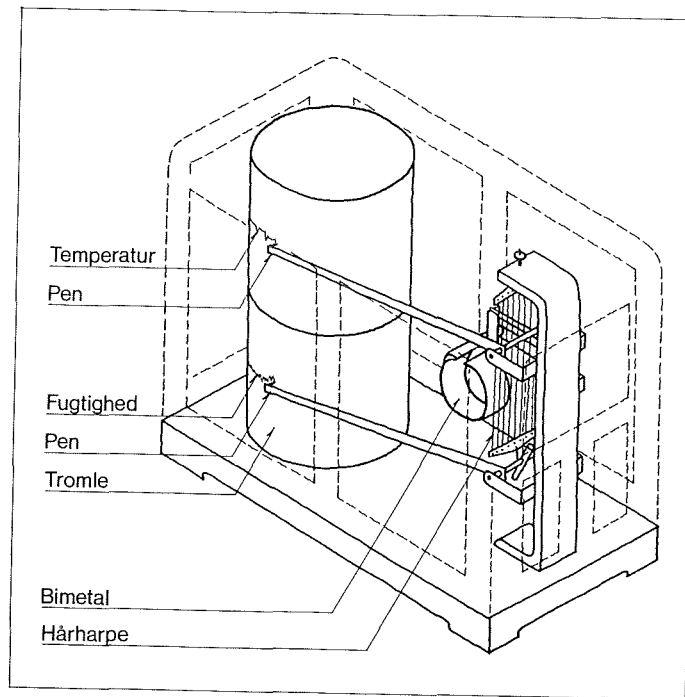
Hårhygrometer

Et hårhygrometer bygger på det princip, at hår ændrer længde afhængigt af den omgivende lufts relative fugtighed. I 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, se figur 25.

Hydrograf

Termohygrograf

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.



Figur 25. 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.

Længdeændringen forsvinder dog, når hårene i nogle timer har været holdt fugtige, fx ved at pakke instrumentet ind i 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 luftfugtigheds-målere

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 herved bringer føleren ud af justering, så saltet må fornyes eller instrumentet justeres.

Måling af fugtindhold 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 plastposer (polyethylen).

Elektrisk træfugtigheds-måler

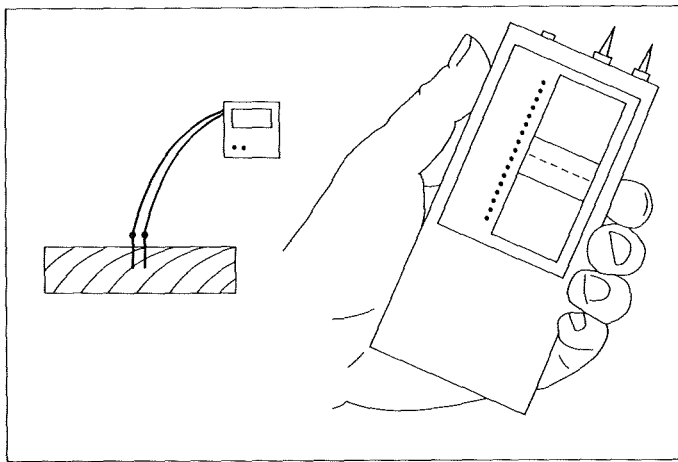
En elektrisk træfugtighedsmåler måler den elektriske modstand i træet, idet denne modstand er afhængig af træets vandindhold. Apparatet har to stifter, som stikkes ind i træet – eventuelt kan stifterne være fast monteret i en trækonstruktion, se figur 26. Metoden er rimelig nøjagtig, hvis vandindholdet er mindre end 30 pct. Måleren er justeret for en bestemt træsort, fx fyrretræ. For andre træsorter må måleresultatet så omregnes ved hjælp af en tabel.

Permanente følere for fugtighedsmåling

Hvis man ønsker jævnlige målinger af fugtigheden i et materiale eller en konstruktion, kan der indbygges fugtfølere bestående af en træprop eller krydsfinerskive med indlagte elektroder, hvortil måleinstrumentet let kan tilsluttes, når måling skal udføres.

Fugtindikator

En fugtindikator er et lille apparat, som placeres direkte på den beton- eller træflade, fx et gulv, der skal undersøges, se figur 27. Apparatet måler elektrisk kapacitet som udtryk for, om materialet er tørt eller fugtigt. Det er kun velegnet til at



Figur 26. Elektriske træfugtighedsmålere. De to følere stikkes ind i træet, og den elektriske modstand mellem spidserne måles og omsættes, så træfugtigheden kan aflæses direkte.

kortlægge omfanget af en fugtskade ved at måle på forskellige områder af en overflade.

Karbidmåler

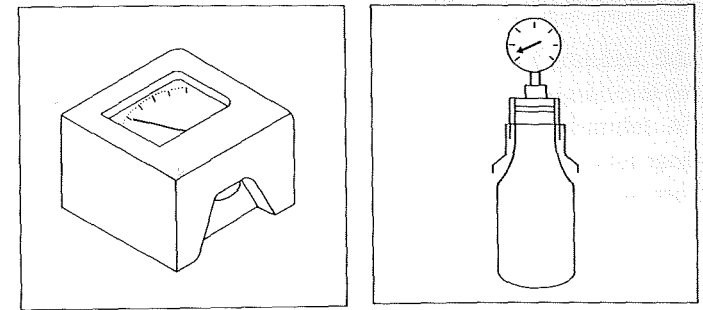
En karbidmåler består af en lille trykflaske og et manometer, og den benyttes normalt kun til at måle vandindhold i beton, se figur 27 til højre. Den betonprøve, der skal undersøges, pulveriseres, afvejes og anbringes i trykflasken. Der tilsættes karbid, som reagerer med prøvens vandindhold under dannelse af luftarten acetylen. Trykket aflæst på manometret er et mål for prøvens vandindhold. Metoden er besværlig og ikke særlig nøjagtig, og den anvendes ikke ret meget mere, efter at de elektriske målere er kommet på markedet.

RF-måling

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

Borer man et hul i fx 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 virkelig-



Figur 27, 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 27, 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. Målemetoden er ikke særlig nøjagtig.

heden 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, fx 90 pct. RF.

Kombinationsmålere

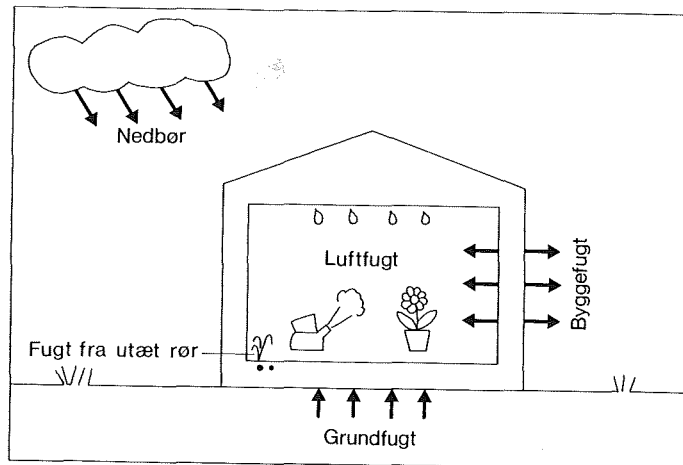
På markedet findes nu også elektriske måleapparater, som ved veksling mellem forskellige forsatsstykker kan måle såvel fugt i materialer som relativ luftfugtighed.

Fugt i bygninger

En bygning kan få tilført fugt ad forskellige veje, se figur 28.

- grundfugt, der kan trænge ind i kældervægge, kældergulve og fundamenter, og som også kan suges op i bygningsdele over terræn,
- 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 28. Denne anvisning 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 igenem 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, fx 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 omfangsdræn uden for kældervægge og fundamenter.

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 tagrender og tagnedløb er nedbørens intensitet, varighed og hyppighed bestemmende, og her kan der henvises til SBI-anvisning 96, *Afløbsinstallationer* eller til tagrendefabrikanternes vejledninger og salgsbrochurer.

I øvrigt skal udvendige bygningsdele på én gang yde beskyttelse mod påvirkninger af de fire V'er, se figur 29:

Vind – Vand – Varme – Vanddamp.

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

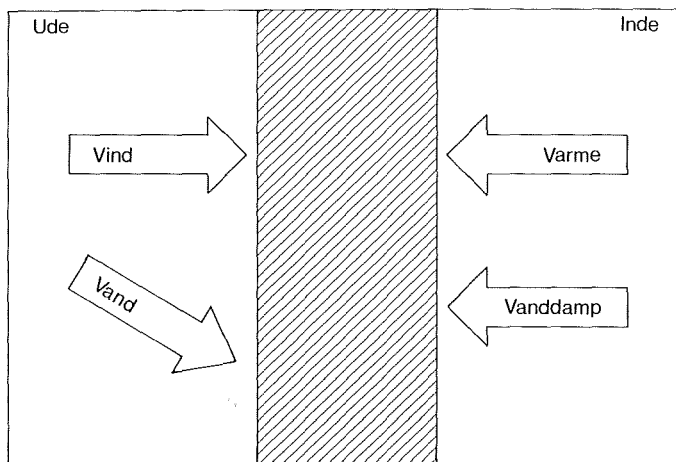
Opbygning af udvendige bygningsdele må derfor ske ud fra en hel række hensyn, hvoraf beskyttelse mod fugt fra nedbør blot er et enkelt. Sammenfattende kan man sige, at indtrængen af fugt fra nedbør modvirkes ved brug af materialer, der

Nedsivende
overfladevand

Fugt i kældre

Dimensionering
af tagrender
og tagnedløb

De fire V'er



Figur 29. En ydervæg og et tag påvirkes af de fire V'er: Vind - Vand - Varme - Vanddamp.

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 vindstandsende lag.

Luftfugt 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 varmeisoleret konstruktion er det ofte nødvendigt at anbringe en dampspærre på den varme side af konstruktionen.

En konstruktionsdel, som varmeisolerer 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-

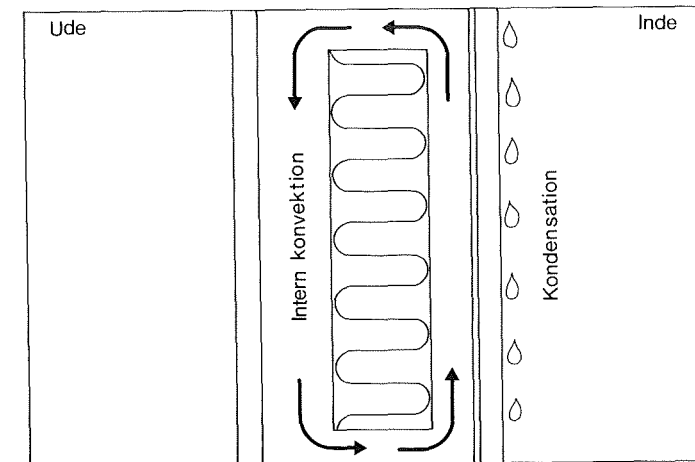
køling, hvilket kan give anledning til skimmelvækst eller støvansamlinger (sorte pletter) på overfladen.

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. Derved bliver varmeisoleringen nedsat, og den indvendige beklædning bliver koldere - der er skabt en kuldebro, hvor der kan ske kondensation. Se figur 30.

Intern konvektion



Figur 30. 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.

To-trinsprincippet

Kuldebroer

Indstrømning af fugtig luft i konstruktioner (fugtkonvektion)

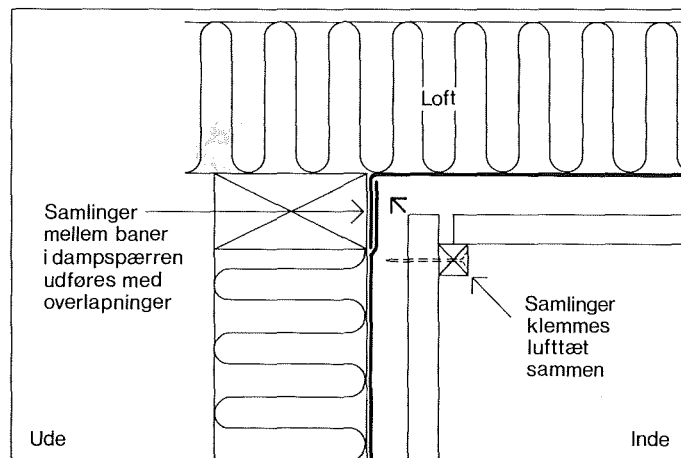
Dampspærren skal være lufttæt

Mange alvorlige fugtskader skyldes, at varm, fugtig rumluft utilsigtet strømmer fra bygningen ind i 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, se figur 31. Mange diffusionstætte materialer leveres i baner, men tætheden i selve materialet er ikke til megen nytte, hvis samlingerne mellem banerne ikke udføres lufttætte.

Løse overlapninger 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 beklædningen – eller de skal være limede eller svejtede.

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



Figur 31. Lodret snit i hjørne mellem ydervæg og loft. Samlinger i dampspærren skal klemmes lufttæt sammen. Hvis dette ikke er muligt, må samlingerne klæbes eller svejdes.

Varmespild
Trækgener

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

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.

I bygningsreglementerne foreskrives naturligt aftræk eller mekanisk udsugning fra baderum og køkkener, men ventilationen af øvrige rum i beboelsesbygninger anses for tilgodeset, blot der er oplukkeligt vindue samt en regulerbar ventil på mindst 30 cm² pr. 25 m² gulvareal 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 dugdannelse, 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

Mekanisk
ventilation

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 liter 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.

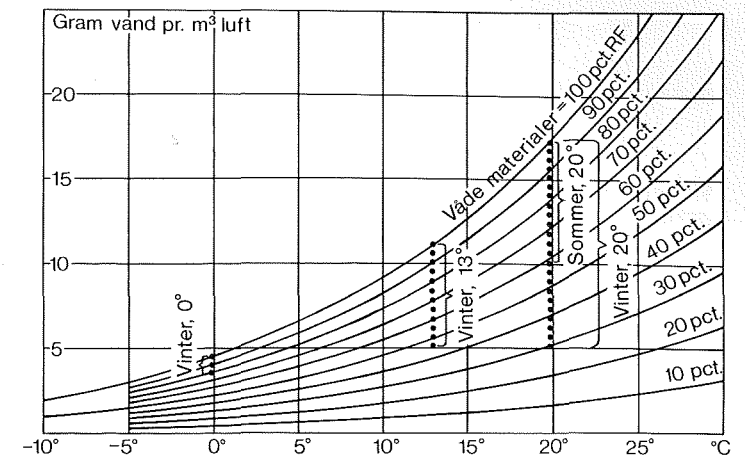
Udtørringshastigheden afhænger af, hvor stor forskel, der er mellem vanddampindholdet i luften inde i materialets porer og i den omgivende luft. I et fugtigt materiales porer er luftfugtigheden altid 100 pct. RF, svarende til den øverste kurve i vanddampdiagrammet. Når temperaturen forhøjes, vil vanddampindholdet 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 vådt 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 32. 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.

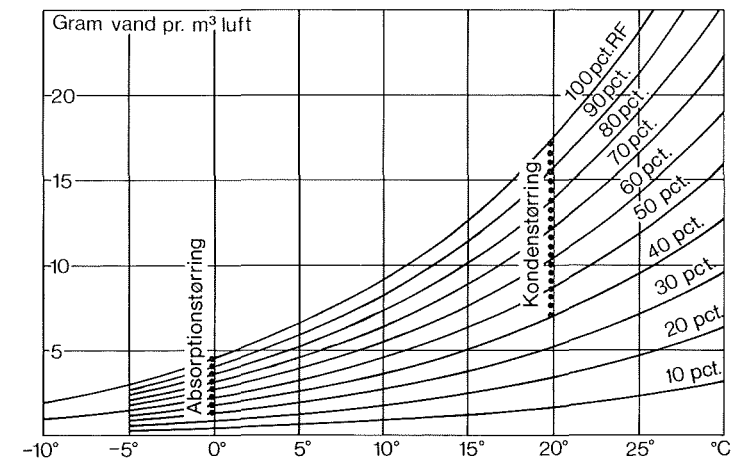
Udtørring kan også ske ved kondensstørring, hvor rumluften sendes gennem et køleanlæg med en kølekompressor, der køler luften ned til nogle få grader over frysepunktet. Herved udskilles vand af luften. Luften varmes straks op igen ved at

Udtørring ved opvarmning og udluftning

Kondensstørring



Figur 32. Vanddampdiagrammet viser udtørringsmuligheder 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 33. 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.

Absorptions- tørring

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 steder for at udtørre bygningen. Denne metode er kun effektiv ved temperaturer på mindst 10–15 °C.

Ved en anden tørringsmetode – absorptionstørring – affugtes luften ved at blive blæst gennem et fugtabsorberende materiale i en rotor, hvor materialet regenereres med varmluft. Denne metode har den særlige fordel, at den kan anvendes ved lave temperaturer. Se figur 33.

Absorptionstørring anvendes fx 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 kældre

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.

Uopvarmet tør 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 4–5 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. 10–12 g vand pr. m³, vil den relative luftfugtighed i kælderen være omkring 80–90 pct. Se figur 34 og 35.

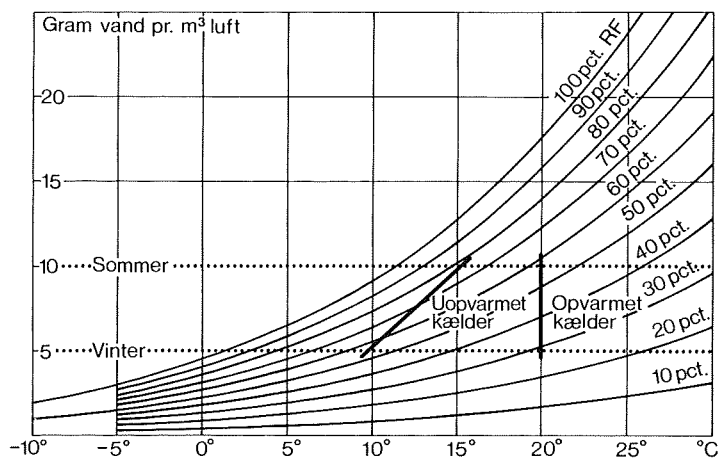
På særligt varme og fugtige sommerdage kan udeluftens fugtindhold stige til over 15 g vand pr. m³, hvilket svarer til en dugpunkttemperatur på over 17 °C. Der kan altså af og til forekomme kondensation på kældervægge og kældergulve i en uopvarmet og uisoleret kælder om sommeren. På sådanne dage bør kælderen holdes tæt lukket, medens der bør udluftes kraftigt i perioder med mere tør udeluft, dvs. hvis udeluftens fugtindhold er 10 g/m³ eller mindre.

Opvarmet kælder

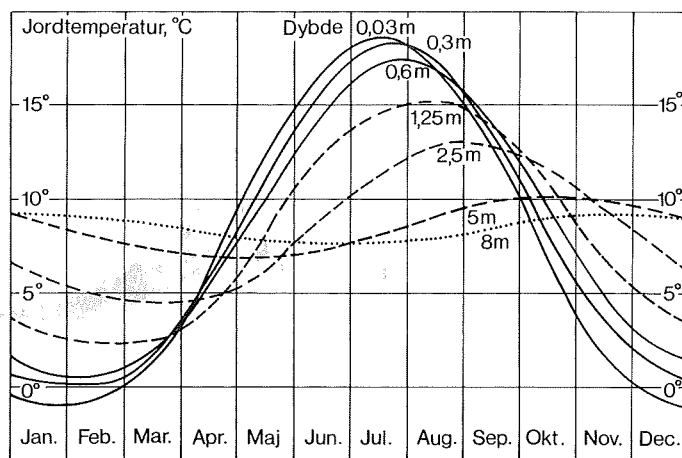
Opvarmes kælderen, vil den relative luftfugtighed være lavere. Opvarmning til fx 20 °C vil give en luftfugtighed på omkring 60 pct. RF om sommeren og omkring 30 pct. RF om vinteren som i andre opvarmede rum. Selv en beskeden opvarmning af kælderen vil altså holde den mere tør.

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 væg-



Figur 34. Den relative luftfugtighed i en kælder afhænger af årstiden og opvarmningsforholdene. Den relative luftfugtighed er både vinter og sommer højere i en uopvarmet end i en opvarmet kælder. Hvis der tilføres kælderens fugt fra grunden eller fra aktiviteter, bliver luftfugtigheden højere.



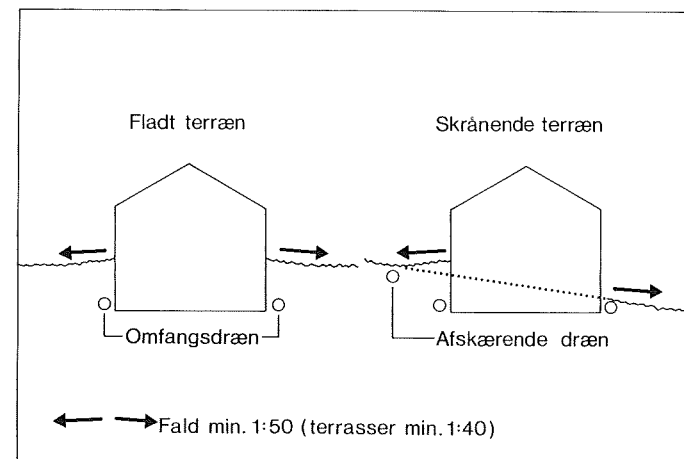
Figur 35. Jordtemperaturen gennem året i forskellig dybde. Mens døgnets svingninger i lufttemperaturen kun påvirker jordtemperaturen ned til knap 0,5 m's dybde, mærkes årstidsvariationen helt ned til en dybde på ca. 8 m, og i denne dybde er årstidsvariationen forsinket i et halvt år. I større dybde end ca. 8 m ligger jordtemperaturen konstant på 8°C.

Terræn langs
kælderydervægge

ge er mere eller mindre gennemtrængt af grundfrugt på grund af mangelfuld dræning og fugtisolering. Så er situationen den samme som i den nye kælder, og der må altså udluftes og måske også opvarmes for at holde kælderen tør.

Om udluftning er tilstrækkelig 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. Se i øvrigt afsnittet om renovering af en fugtig kælder.

Terrænet langs kælderydervægge skal have fald bort fra bygningen, så overfladevandet kan ledes effektivt bort, se figur 36. 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,



Figur 36. 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.

således at der stadig er fald bort fra bygningen, også efter eventuelle mindre sætninger.

Vægdræn og omfangsdræn

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

Drænrør skal være omgivet af filtermateriale, fx sand med en sådan kornstørrelse, at det ikke kan trænge ind i drænrøret. Hvis der anvendes singels, skal de dækkes af filterdug for at hindre lerpartikler i at trænge ned mellem stenene.

Fugtisolering af kælderydervæg

Indtrængning 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 varmesolering.

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

Udvendig varmesolering

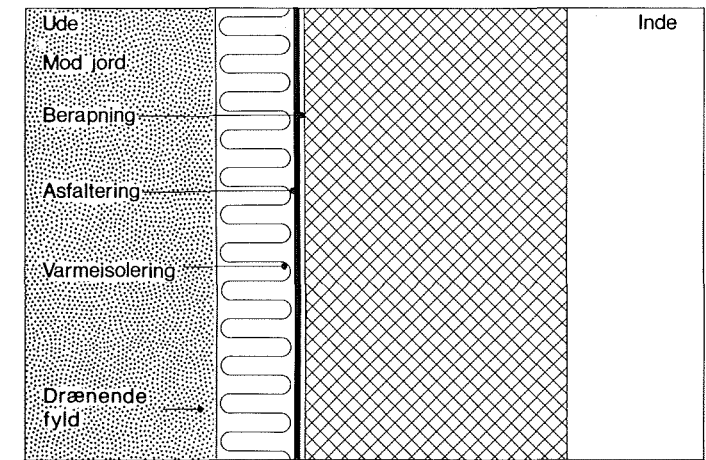
Af hensyn til faren for at fugt trænger ind gennem en kælderydervæg udefra, bør varmesolering af væggen så vidt muligt udføres på den udvendige side, se figur 37. Varmesoleringen kan fx foretages ved at opsætte trykfaste isoleringsplader direkte på det fugtisolerende lag, fx polystyrenplader med drænriller på den side, der vender ud mod jorden, se figur 38. Bemærk, at mineraluld ikke længere regnes for drænende.

Indvendig varmesolering

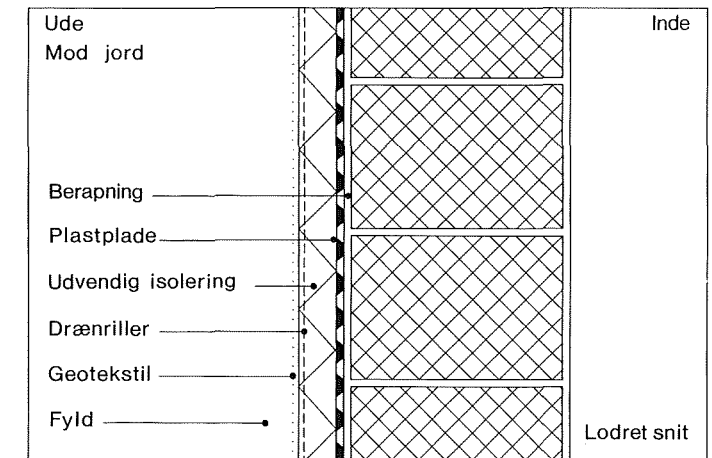
Hvis en væsentlig del af kælderydervæggen er over terræn, kan man af konstruktive og æstetiske grunde være tvunget til at varmesolere på den indvendige side.

En form for indvendig varmesolering, 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 varmesolering med mineraluld anbragt i et pladebeklædt lægteskelet med dampspærre under beklædningen 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.



Figur 37. Kælderydervæg støbt af beton. Væggen er behandlet udvendigt med berapning og derefter to gange asfaltering. Den udvendige varmesolering af hårde mineraluldsplader er trykket fast i asfalten. Tilfyldningen af drænende fyld (kan fx være sand eller grus) foran væggen må, især når den foretages med maskine, ske forsigtigt, så isoleringspladerne ikke beskadiges.



Figur 38. Kælderydervæg af blokke, fugtisoleret med hårde, profilerede plastplader, som skal opsættes med stort overlæg. Blokkene er berappet på siden mod jord. Udvendig varmesolering af polystyren med drænriller og filter af geotekstil.

Desuden 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 ikke benyttes isolering med en tykkelse over 50 mm, og der må ikke anbringes dampspærre på den del af kældervæggen, som er mere end 0,5 meter under terræn. Herved tillader man eventuel indtrængende fugt at fordampe ind i kælderen, samtidig med at faren for kondensation på den nederste del af kældervæggen er ringe.

Ved indvendig efterisolering 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 varmeisoleringen udvendigt.

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 kapillar-sugning, forudsat at stenene er vasket. Se figur 40.

Også varmeisolerende materialer i form af hårde mineraluldplader eller stive skumplastplader kan indgå i konstruktionen som kapillarbrydende lag. Sådanne materialer bør altid anbringes oven på et afrettet drænlag. Endelig vil specialbehandlede (coatede) 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 ubetydelig og vil kunne fjernes ved et beskedent luftskifte. En fugtspærre, dvs. et vand- og diffusionstæt lag, er derfor under normale omstændigheder unødvendig. Varmeisoleringen bevirker at grundvandets temperatur holdes lav. Herved begrænses fordampningen fra grundvandet, og faren for fugtgener mindskes.

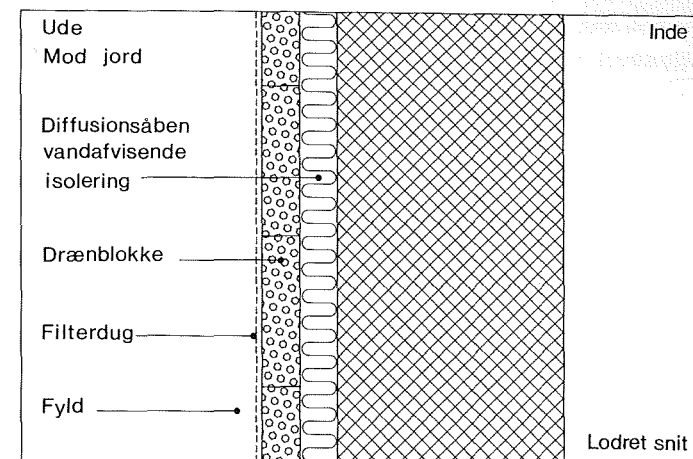
I en tør, opvarmet kælder kan der lægges gulv som på et almindeligt terrændæk. Trægulv bør lægges over en plastfolie.

Efterisolering af kældervæg

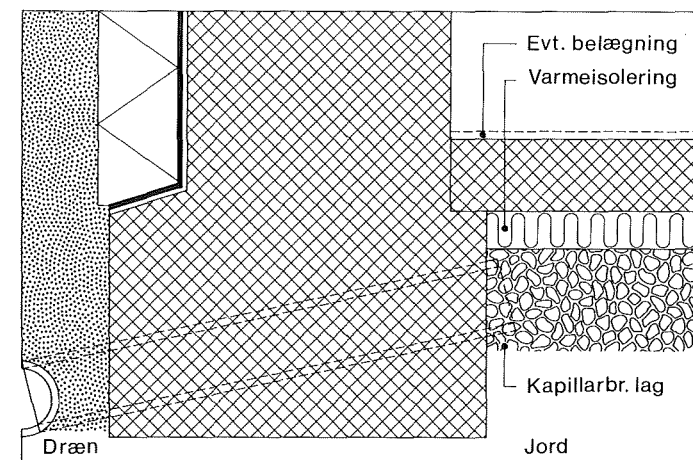
Kældergulv

Fugtspærre unødvendig

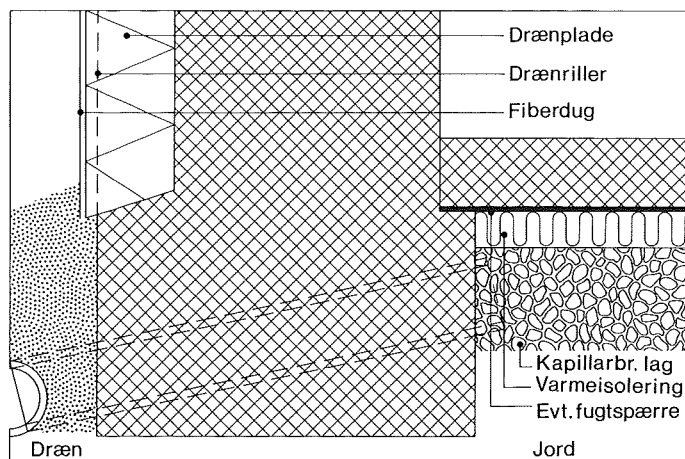
Gulvbelægning



Figur 39. Kælderydervæg af beton. Utraditionel opbygning uden vandtæt lag. Fugt kan diffundere ud gennem en diffusionsåben (porøs) isolering, fx mineraluld, og kondensere i jorden. Fugtsikring sker ved hjælp af vægdrænet og mineraluldens kapillarbrydende virkning. Denne udførelse bør kun anvendes, hvor det må anses for sandsynligt, at drænsystemet ikke overbelastes, hvorved vand ville kunne nå væggen og suges kapillært ind i denne.



Figur 40. Kældergulv med kapillarbrydende lag og varmeisolering. Betonpladen skal være mindst 100 mm tyk og skal have fordelingsarmring, fx Ø 8 pr. 300 mm i begge retninger eller Ø 3 mm trådnæt med 50 mm maskevidde. Drænlaget er forbundet til det fri for at skabe trykudligning, så radon ikke siver op i bygningen ved kraftigt barometerfald.



Figur 41. Udvendig varmeisolering af betonkældervæg. På kældervæggen er opsat polystyrenplader med lodrette drænriller på ydersiden. Drænrillerne er dækket af en fiberdug, således at rillerne ikke tilstoppes af jord. Drænpladerne samles med fer og not, og pladerne opsættes på kældervæggen med mekanisk fastgørelse. Kældervæggen skal ikke asfalteres. Drænpladerne leveres fra fabrikken med påsat fiberdug med flapper til overlappning af pladesamlingerne og til afdækning af pladernes overside.

Varmeisoleringen af gulvet bør ikke være kraftigere end svarende til 50 mm mineraluld, hvis isoleringen lægges oven på betonlaget. Ved kraftigere isolering vil betonoverfladen kunne blive så kold, at der vil være risiko for kondensdannelse.

For at begrænse opsugning af den radioaktive luftart radon fra jorden bør kældergulvet udføres så tæt som muligt, dvs. med sædvanlig svindarmering. Der skal også være tæthed mod kældervæggene. Ledningsgennemføringer skal tættes med fx fugemasse. Da luften trykkes op fra jorden ved fallende barometerstand, bør drænlaget trykudlignes til det fri, fx ved at omfangsdrænet forbindes med drænlaget som vist på figur 40 og 41.

Renovering af fugtige kældre

I gamle ejendomme med murede kældervægge kan jordfugt suges op i væggene til en højde, som er bestemt af de stedlige forhold. Hvis fugten suges så højt op, at gulvbjælker i kælderbjælkelaget er truet, er det nødvendigt at gribe ind.

Opsugningshøjde

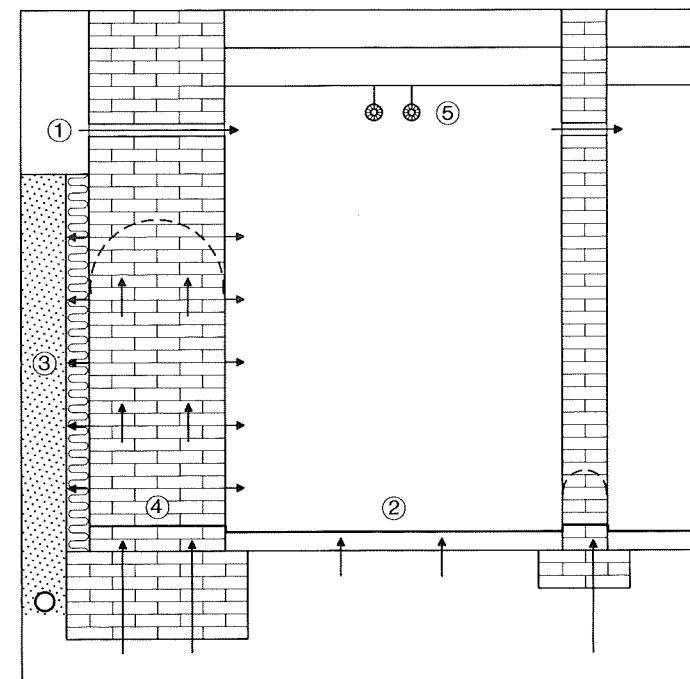
Reduktion af opsugningshøjden

Opsugningshøjden er bestemt af en balance mellem den nedfra kommende fugttilførsel og muligheden for fordampning fra vægfladerne.

Principielt er der følgende måder at reducere opsugningshøjden i kældermure – se figur 42:

- at forbedre ventilationen af kælderen,
- at etablere fordampning udad mod jorden,
- at etablere fugtspærre i kældergulvene,
- at etablere fugtspærre i kældermurene, og
- at opvarme kælderen.

I det efterfølgende gennemgås disse foranstaltninger.



Figur 42. Muligheder for at reducere opsugningshøjden i fugtige kælderydremure:

1. Ventilation
2. Fugtspærring af gulv (og evt. indervægge)
3. Fordampning udad gennem diffusionsåben isolering
4. Fugtspærring af selve væggen
5. Varmetilførsel

Radon

Ventilation

Ofte kan fugtforholdene i kælderen forbedres alene ved at forbedre ventilationen af kælderen. I en kælder med fugtige vægge og gulve og med ringe udluftning vil den relative luftfugtighed året rundt være nær ved 100 pct. Ved konstant, kraftig udluftning kan luftfugtigheden bringes ned på samme niveau som udeluftens, og samtidig tilnærmes kældertemperaturen til udetemperaturen.

Fordampning udad mod jorden

Fugtforholdene i kælderen kan forbedres ved at etablere mulighed for fordampning udad mod jorden. Dette kan gøres ved at varmeisolere kælderydervæggene udvendigt med et meget diffusionsåbent (og vandafvisende) materiale, fx mineraluld. Hvis temperaturen i kælderen er højere end i jorden udenfor, vil vægfugten fordampe ud gennem isoleringen og kondensere i jorden. Dette forudsætter dog, at væggenes yderside er diffusionsåben, og en eventuel asfaltering eller anden vandtætning må altså fjernes. Beskyttelse af væggene mod jordfugt må så ske ved hjælp af et drænlag uden på isoleringen eller ved at anvende et isoleringsmateriale med drænende egenskaber, se figur 39 og 41.

Vandtæt gulv

Et bidrag til at reducere fugtigheden i en kælder kan opnås ved en fugtspærende behandling af gulvene, fx asfaltering eller vandtæt pudslag. Derimod må vandtætnende puds eller anden form for vandtætning ikke anvendes på de murede vægge, idet disse materialer hæmmer fordampningen, så vandet ikke suges frem til overfladen, men suges endnu længere op i væggene.

Hvis der indrettes pulterrum i kælderen, må ydervæggene holdes fri, således at fugtfordampningen ikke hæmmes af opbevarede genstande.

Fugtspærre i mur

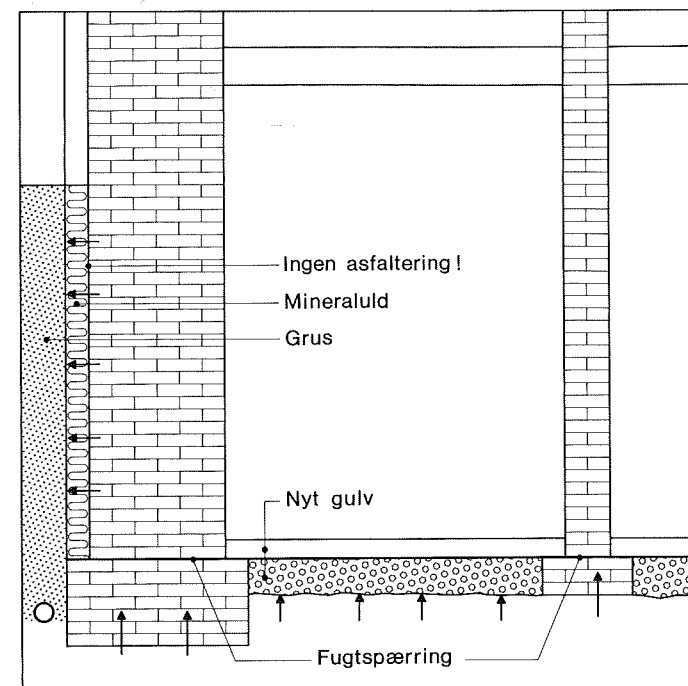
Fugtopsugning i kældervægge kan standses med en fugtspærre i væggene. Der kan være tale om tre forskellige muligheder:

- indpresning af rustfri stålplader,
- indlægning af asfaltpap efter udhugning, og
- injektion af vandstandsede kemikalier.

Det er et problem, at de nævnte fugtspærre ofte må placeres et stykke over terræn eller gulv, og ofte må man bruge en kombination af mulighederne.

Fuldstændig fugtspærring

En fuldstændig fugtspærring i en kælder vil kunne ske, hvis betongulvene ophugges og erstattes med nye udlagt på et kapillarbrydende lag, idet der etableres fugtspærre under gulv-



Figur 43. Den fuldstændige renovering af en fugtig kælder forudsætter opgravning af kældergulv, fugtspærring af alle vægge under gulvniveau, udførelse af kapillarbrydende lag og nyt betongulv samt etablering af diffusionsåbent isoleringslag med udtørningsmulighed udad fra kælderydermurene. Der bør være plastfolie under betongulvet for at sikre tæthed mod radonopsugning, selv om folien ikke er nødvendig fra et fugtmæssigt synspunkt. Herudover er en vis opvarmning nødvendig for at holde kælderen tør. Udeladelse af fugtstandsede lag på kældervæggens yderside bør kun ske, hvis der er stor sandsynlighed for, at drænsystemet ikke overbelastes.

højde i væggene, medens gulvene er gravet op. Denne løsning er dog bekostelig. Se figur 43. I de fleste tilfælde vil man derfor undlade fugtspærring og nøjes med at sikre trækonstruktionerne ved at gennemføre nogle af de øvrige foranstaltninger og i øvrigt lade klimaet i kælderen forblive noget fugtigt, men kælderen kan da kun anvendes til sekundære formål.

Opvarmning af kælderen i forbindelse med øget ventilation er en effektiv måde til at fremme fugtfordampningen og således reducere opsugningshøjden for fugten i væggene, se figur 34.

Opvarmning af kælder

Hvis der er en vis varmetilførsel til kælderen fra fx (isolerede) varmerør eller fra rummene oven over kælderen gennem et dårligt isoleret kælderdek, vil udtørningsforholdene forbedres; men for at temperaturen skal kunne hæves mærkbart, må luftskiftet begrænses noget. Der skal findes den balance, hvor den relative luftfugtighed er lavest. Det vil mindske kravet til ventilation, hvis fx gulvene fugtspærres, og samtidig giver den højere temperatur mulighed for at kælderydervæggene kan udtørre udad mod jorden.

Varmetab ved rørføring i en krybekælder

Varm krybekælder

Luftfugtighed i en kold krybekælder

Fugt og krybekældre

Krybekælder og kryberum er synonyme for lave, tilgængelige rum mellem terræn og nederste dæk. Ordet kryberum anvendes dog også, selv om rummet er så lavt, at det ikke er tilgængeligt for nogen, selv om de »kryber«.

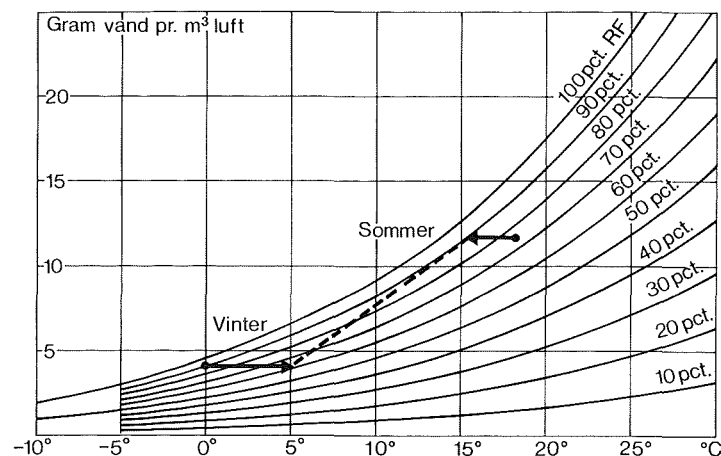
Ideen bag krybekælderkonstruktionen er at skabe afstand mellem terræn og dæk, så et træbjælkelag ikke kommer i direkte kontakt med jordfugt, for på denne måde at mindske risikoen for angreb af råd og svamp i bjælkelaget.

Et argument for at udføre krybekælder er også, at krybekælderen giver mulighed for en bekvem rørføring til installationer – rørene er »skjulte«, men er alligevel let tilgængelige for inspektion og eventuel reparation.

Varmetabet fra varmerør og varmtvandsrør i en kold krybekælder er imidlertid af størrelsesordenen 1000 W for et almindeligt enfamiliehus, selv om rørene er varmeisolerede. Et varmetab af denne størrelse må i dag betegnes som uacceptabelt.

Ønsker man at bevare rørføringen i krybekælderen, må krybekælderen derfor udføres som en varm krybekælder, dvs. en krybekælder, hvor ydervægge og bund er varmeisoleret, medens dækket over krybekælderen til gengæld ikke skal varmeisoleres. Se eksempler i figur 47 og 48.

I en krybekælder, som ikke er ventileret, men som tilføres fugt fra grunden, vil der hele året være en luftfugtighed nær 100 pct. RF. Hvis jordfugtfordampningen nedsættes, fx ved at der anbringes en fugtspærre i krybekælderen bund, og der samtidigt ventileres med udeluft, vil RF blive lavere og vil i øvrigt variere med årstid og udeklima. I den koldeste måned er temperaturen i krybekælderen omkring 5 °C, og da udeluften på denne årstid gennemsnitligt indeholder ca. 4 g vanddamp pr. m³, vil luftfugtigheden i krybekælderen være ca. 60 pct. RF. I den varmeste måned vil temperaturen i krybekælderen være omkring 15 °C, og udeluften vil nu indeholde ca. 12 g vanddamp pr. m³, hvad der giver en luftfugtighed i krybekælderen på ca. 90 pct. RF, se figur 44.



Figur 44. Fugtforholdene i en kold 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 krybekælderen omkring 15 °C, altså lavere end ude. Den relative luftfugtighed vil da være ca. 90 pct., og af og til endnu højere.

Beskyttelse mod jordfugt og overfladevand

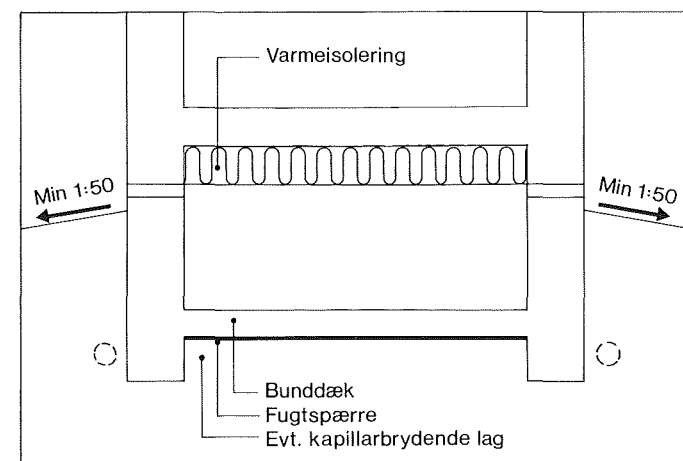
Uanset om en krybekælder udføres som en kold eller en varm krybekælder, skal den beskyttes mod jordfugt og indtrængning af overfladevand.

Beskyttelse mod fordampning af jordfugt

På et velegnet, tørt terræn kan et 80 mm tykt betonlag i krybekælders bund være nok til at standse opstigende jordfugt. Det giver dog altid større sikkerhed at afdække grunden med en fugtspærre, fx en 0,20 mm polyethylenfolie, eventuelt oven på et kapillarbrydende lag. Fugtspærren skal have fald mod krybekælders 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, eller hvis der skal være adgang til installationer – af et lag beton.

Beskyttelse mod overfladevand

Terrænet uden for krybekælderen skal have fald bort fra bygningen, så overfladevand ledes væk, se figur 45. Ventilationsåbninger i krybekældervæggene skal have underkant mindst 100 mm over terræn. Eventuelt må der udføres om-



Figur 45. Terrænet skal have fald bort fra bygningen. Jorden under krybekælders 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.

Inspektion og reparation

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

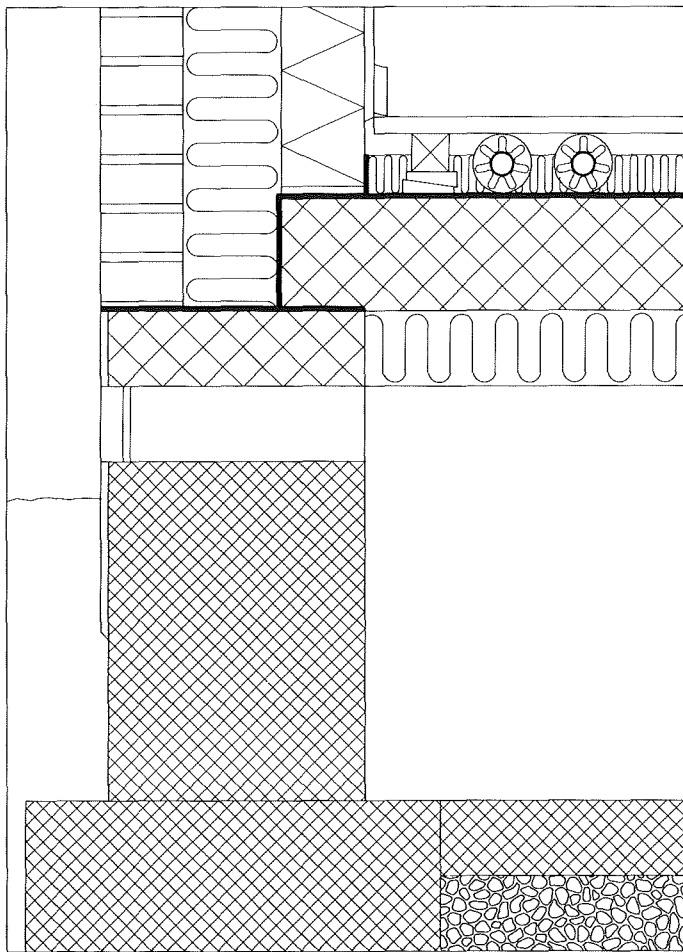
Hvis der i en krybekælder skal kunne foretages inspektion af installationer eller andre bygningsdele samt eventuelt udføres reparationer og ændringer ved fx varme anlægget, må der være adgang til krybekælderen gennem en lem inde i bygningen eller fra det fri, og der må være passerbare åbninger mellem alle rum i krybekælderen. Den frie højde i kryberummene bør være mindst 0,6 m, dog hellere 0,8 m, for at passage under rør og kanaler kan ske nogenlunde bekvemt.

Frostrisiko

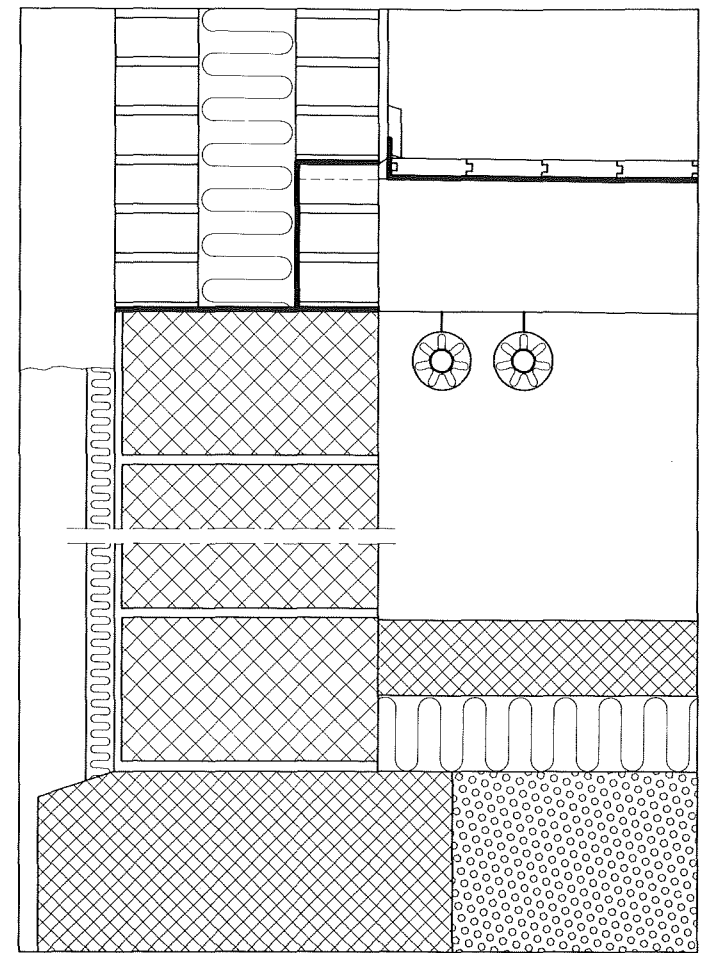
Afløbsledninger og koldt vandsrør i en kold krybekælder må frostsikres med varmeisolering. Hvis rørene føres tæt ved ventilationsåbninger, øges risikoen for frysning og frostsprængning af installationerne.

Ventilation af kold krybekælder

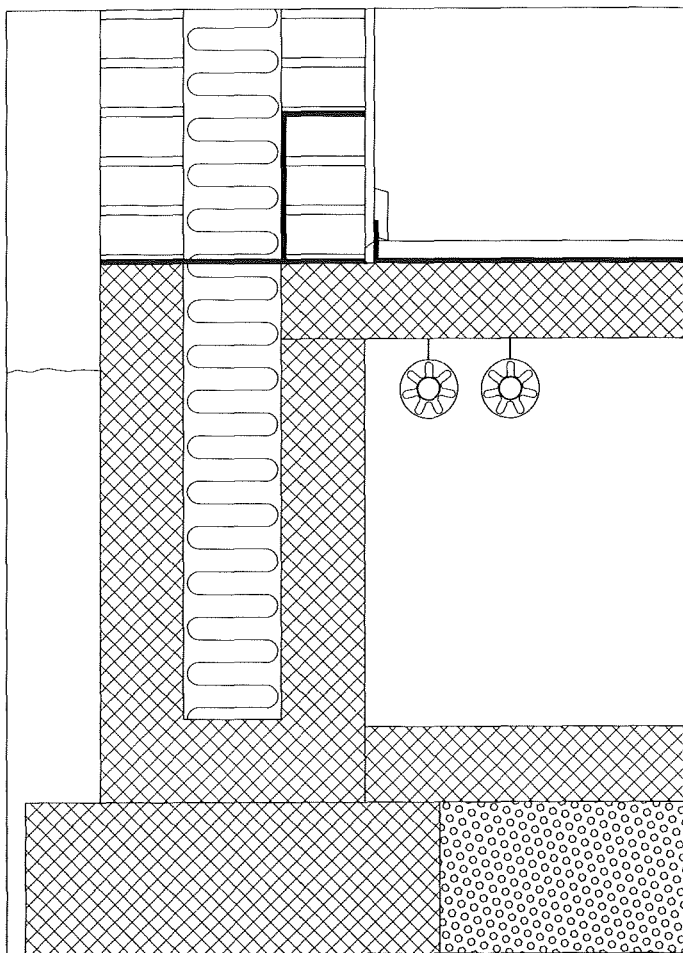
Ventilation med udeluft af en kold krybekælder er nødvendig for at fjerne den jordfugt, der trods alle normale forholdsregler alligevel trænger ind i kælderrummet. Størrelsen og



Figur 46. Kold krybekælder med dæk af beton eller letbeton. Varmeisoleringen er fastgjort på undersiden af dækket. Isolerede varmerør er ført over dækket under trægulvet. Kuldebro ved soklen er undgået ved at anvende en række letklinkerbetonblokke øverst i fundamentet. Om ventilation se figur 49 og 50.



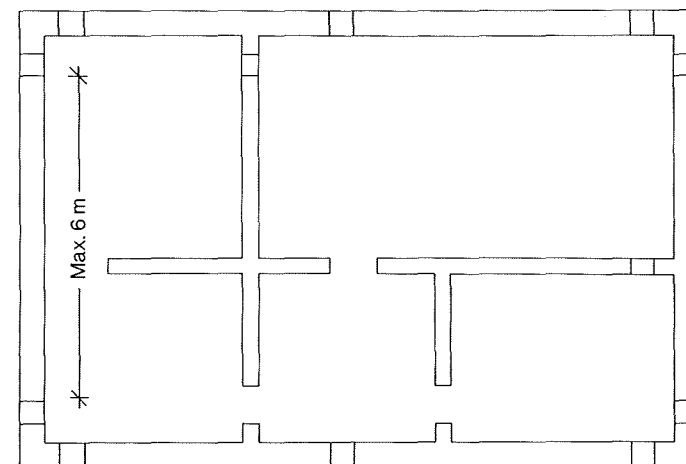
Figur 47. Varm krybekælder med ikke-varmeisoleret træbjælkelag. Der skal være plastfolie under gulvbrædderne af hensyn til lufttætheden, dels for at undgå træk og dels for at undgå opsugning af radon. Folien udlægges ved at rulle folierullerne foran gulvbelægningen, og samling skal være over gulvbjælker, så samlingerne klemmes. Der skal være enkelte ventilationsåbninger til udeluften. Varmerør føres i krybekælderen, men rørgennemføringer skal være lufttætte.



Figur 48. Varm krybekælder med dæk af beton eller letbeton. Bunddækket er varmeisoleret med letklinker. Fundamentet er her vist som varmeisolerede betonelementer. Der skal være enkelte ventilationsåbninger til det fri. Varmerør føres i krybekælderen, men rørgennemføringer skal være lufttætte.

Svag ventilation af varm krybekælder

Krybekælderdæk



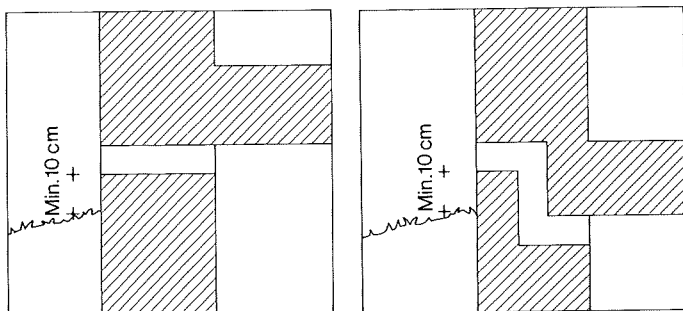
Figur 49. I en kold krybekælder anbefales det at udføre mindst én ventilationsåbning for hver 6 meter ydervæg, og hver åbning skal være mindst 150 cm². Åbningerne skal anbringes, så der ikke opstår »lommer« med stillestående luft. For at krybekælderen skal kunne inspiceres, skal åbningerne i de indvendige vægge tillade en person at passere igennem.

placeringen af de nødvendige ventilationsåbninger fremgår af figur 49 og 50.

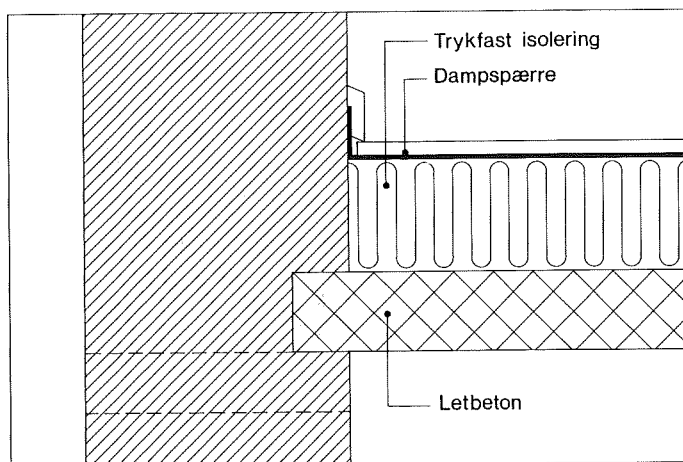
En varm krybekælder skal kun være svagt ventileret. Antallet og arealet af ventilationsåbninger skal være langt mindre end i en kold krybekælder. Af hensyn til udtørring af byggefugt kan det dog være fornuftigt at starte med ventilationsåbninger som vist på figur 49 for en kold krybekælder og så senere lukke en del af åbningerne, således at der fx i et enfamiliehus bevares en enkelt åbning på 50 cm² i to modstående sider.

Træbjælkelaag over en kold krybekælder er en konstruktion, som indebærer en vis risiko for fugtskader, fordi den relative luftfugtighed om sommeren ikke kan undgå at blive meget høj, se figur 44 og 46.

I en varm krybekælder skal bunddæk og ydervægge være varmeisoleret, men dækket over krybekælderen kan være uisoleret. Dækket kan være et træbjælkelaag eller et beton- eller letbetondæk, se figur 47 og 48. Hvis der udføres et træbjælkelaag over en varm krybekælder, bør der indlægges plast-



Figur 50. 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.



Figur 51. 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 gulykonstruktion. På grund af byggefugt fra dækket må isoleringen ikke indeholde træ eller andet fugtfølsomt materiale.

folie direkte under gulvbrædderne for at skabe tæthed mod radon. Isoleringen af bunddækket kan eventuelt være isoleringsmateriale udlagt oven på bunddækket – det er dog mindre egnet, hvis krybekælderrummene jævnlige skal være tilgængelige.

Varmerør i træbjælkelag

I et træbjælkelag kan der udskæres for varmerør i overkant af bjælker i op til 0,5 m fra vederlaget og maksimalt $\frac{1}{3}$ af bjælkehøjden, men rørene skal isoleres, bl.a. for at beskytte gulvet mod for kraftig varmepåvirkning.

Krybekælderdek under vådrum

Under vådrum, dvs. baderum, wc-rum med gulvafløb og lignende, bør krybekælderdek udføres som et betondæk. Hvis dette ikke er muligt, kan vådrum dog udføres på et træbjælkelag, men kun hvis det sker i overensstemmelse med de fremgangsmåder, som er beskrevet i SBI-anvisning 169: Gulve og vægge i vådrum. Heri gives retningslinier for bl.a. lægning af undergulv, udførelse af svejsefuger ved pvc-gulvbelægning og udførelse af vandtætte lag. Det må forudsættes, at den frie højde under træbjælkelaget er mindst 0,6 m, samt at der er adgang for inspektion.

Efterisolering af kold krybekælder

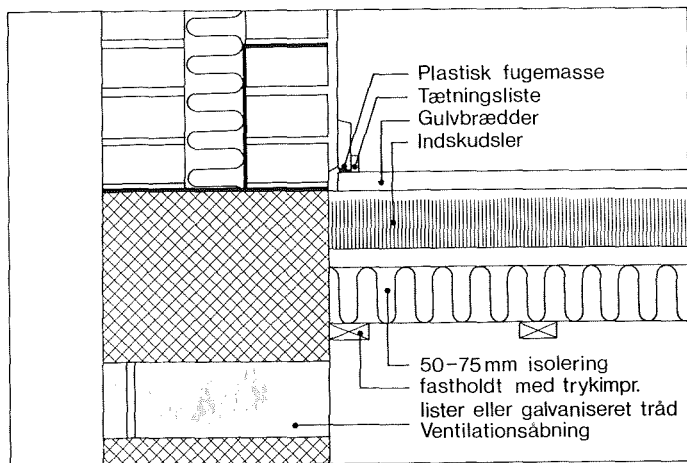
Dækket over en kold krybekælder kan efterisoleres ved at anbringe et lag varmeisolering på undersiden af dækket, se figur 52 og 53. Denne konstruktion giver sjældent fugtproblemer, blot isoleringsmaterialets underside er diffusionsåben. Det er vigtigt at forbedre vindtætheden langs væggene, fx med fugemasse. Hvis der anvendes en vindtæt plade under isoleringen, bør der samtidigt lægges en dampspærre over isoleringen. Isoleringslaget bør så vidt muligt føres under eventuelle varmerør, så varmen kommer huset til gode. Alternativt må rørene varmeisoleres med mindst 50 mm isolering. Koldt-vandsrør og afløbsledninger bør frostsikres.

Er krybekælderen fugtig, må der udlægges plastfolie oven på bunddækket, og det må sikres, at ventilationen er i orden.

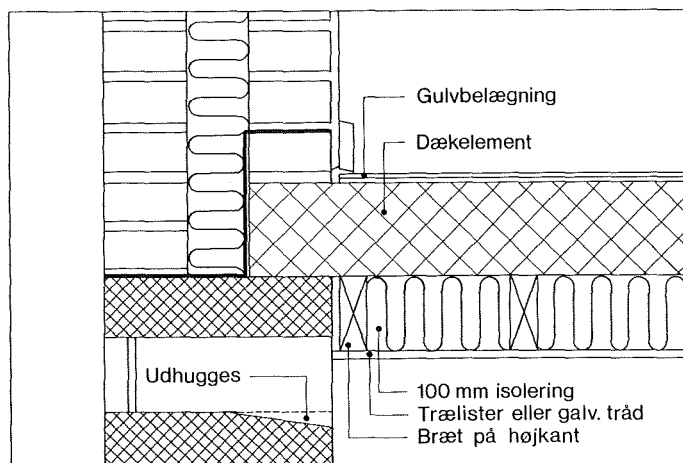
Efterisolering af en kold krybekælders vægge og bund kan være et alternativ, men det forudsætter, at bunden i krybekælderen er tør, og hvis der er tale om et træbjælkelag, må fugttilstanden kontrolleres i tiden efter efterisoleringen.

Indblæsning af isoleringsmateriale

En mulighed for efterisolering er også at indblæse isoleringsmateriale oven på indskudsleret i et træbjælkelag over kryberum. Det må anbefales i dette tilfælde at anvende en så diffusionstæt gulvbelægning som fx linoleum eller pvc for at hindre kondensation inde i konstruktionen.



Figur 52. Eftersisolering af træbjælkelag over krybekælder. Der er her vist lerindskud på brædder midt i bjælkelaget, og et isoleringslag er indlagt på imprægnerede lister, sømmed på bjælkeundersiden. Hvis isoleringslaget må placeres helt under bjælkelaget, kan det være nødvendigt at hugge ventilationsåbningernes bund skrå på den indvendige side.



Figur 53. Eftersisolering 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 trykimprægnerede 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.

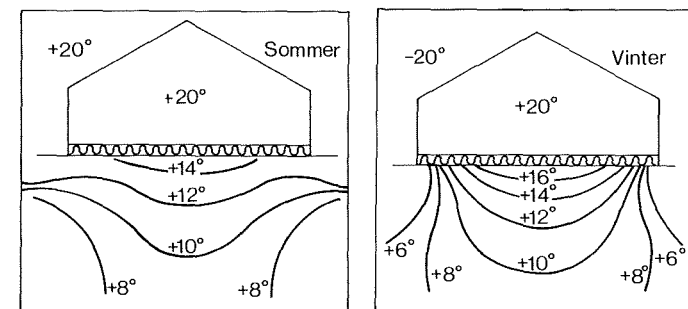
Fugtskader

Fugtskader i terrændæk kan skyldes jordfugt, byggefugt (støbefugt) eller kondensation af rumfugt. Mange skader skyldes dog også utætte installationer eller vandudsivning fra badeværelser. Varmeor eller varmekanaler udgør en særlig risiko, idet varmen kan få fugtighed til at vandre mod koldere områder i gulvet og kondensere der.

Trægulv på strøer

Et trægulv på strøer kan fx udføres som vist på figur 56. Følgende forhold skal tages i betragtning for at hindre fugtskader:

1. Jordfugt skal hindres i at blive suget op. Dette opnås ved hjælp af et kapillarbrydende lag.
2. Byggefugt fra betonpladen skal hindres i at nå trægulvet ved fordampning eller opsuining. Dette opnås ved at anbringe en fugtspærre oven på betonpladen.



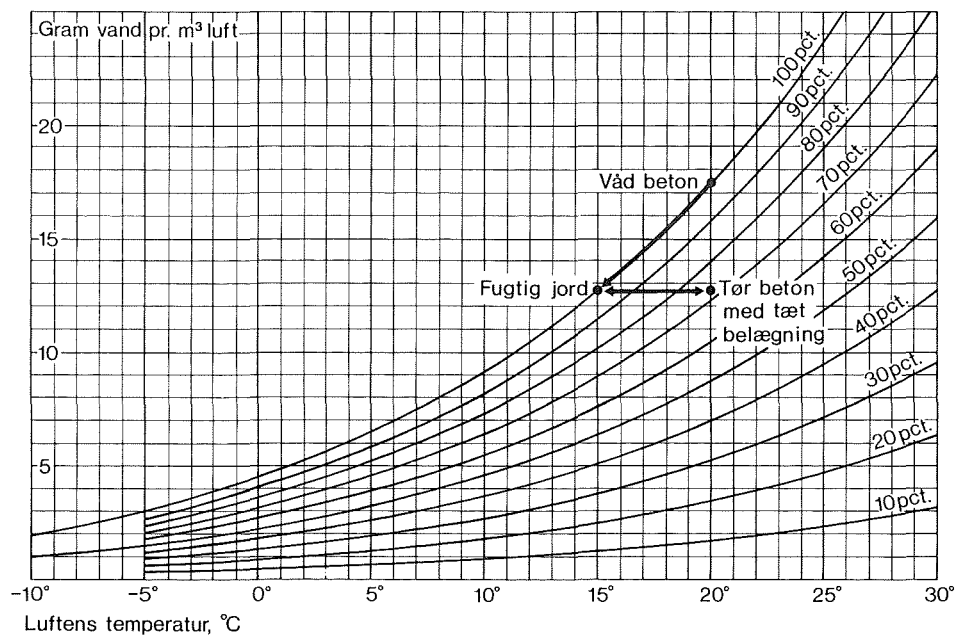
Figur 54. Temperaturforholdene i jorden under en bygning med terrændæk. Til venstre jordtemperaturer om sommeren, til højre om vinteren ved en opvarmet bygning.

3. Kondensation af rumluftens vanddamp på oversiden af fugtspærren skal hindres. Dette opnås ved at placere mindst halvdelen af isoleringen under betonen, således at betonpladen bliver så varm, at kondensation undgås.

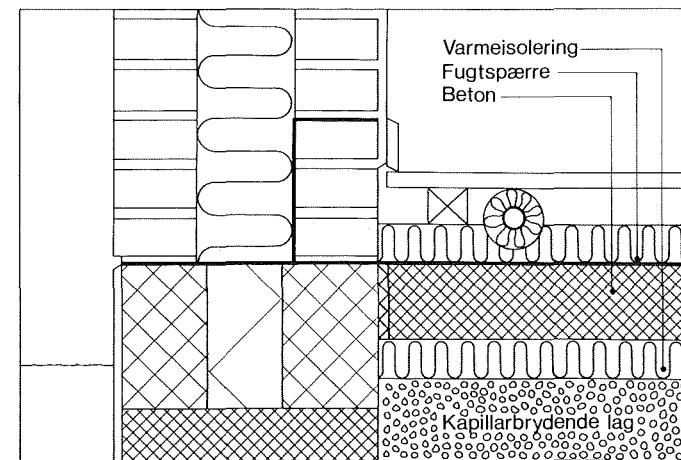
4. Kuldebroer ved sokkel skal reduceres mest muligt, fx ved opbygning af fundamentets øverste del i letklinkerbetonblokke. Herved undgås kondens på soklens inderside.

5. Varmerør skal isoleres selvstændigt for at undgå udtørring af gulvbrædderne, 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 fugtlige vægt med rumluften.



Figur 55. I våd beton og fugtig jord er den relative luftfugtighed 100 pct., men da jordens temperatur er lavere end betonens, fordamper der vand fra betonpladens underside til jorden, hvorved betonen ganske langsomt tørrer ud. Tæt gulvbelægning kan klæbes på betondækket, når betonens fugtighed er faldet til 90 pct. RF – måske først 2 måneder efter betonstøbningen. Om betonen er tilstrækkelig tør konstateres ved måling. Med en tæt gulvbelægning bliver der først ligevegt efter flere år. Pilene på diagrammet viser diffusionsretningen. De vandrette pile viser ligevegtstilstanden.



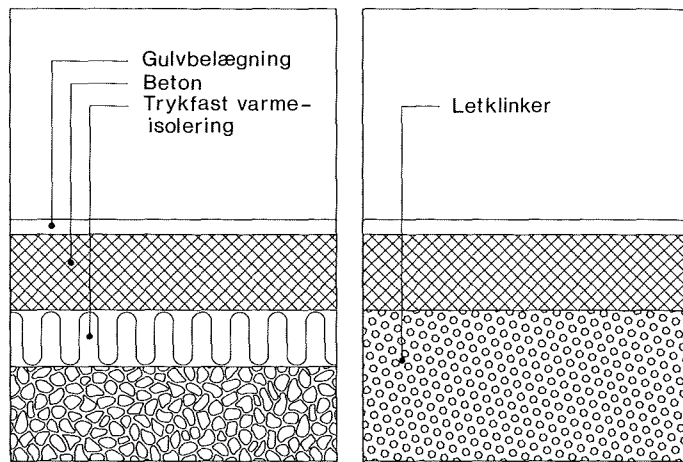
Figur 56. Trægulv på strøer på terrændæk. Jordfugt standses med et kapillarbrydende lag. Byggefugt fra betonpladen standses med en fugtspærre oven på betonen. Kondensation af rumluftens vanddamp på oversiden af fugtspærren hindres ved at placere mindst halvdelen af varmeisoleringen under betonpladen. Det er ikke nødvendigt at bruge imprægnerede strøer. Af hensyn til risikoen for opstrømning af radon fra de underliggende jordlag bør murpappen under bagmuren forlænges ind over kantisoleringen og klæbes til betonpladen.

Varmeisolering under beton

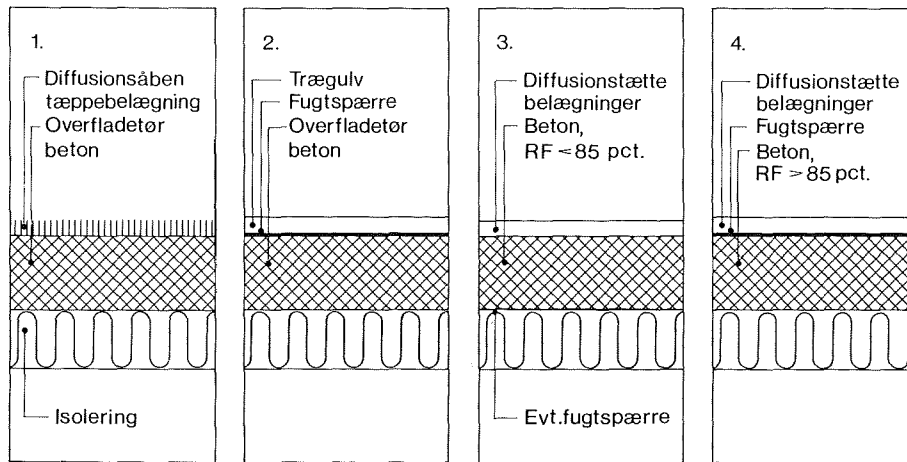
Figur 57 viser to eksempler på placering af varmeisolering under betonpladen i terrændækket. For at undgå fugtskader skal især to forhold her tages i betragtning:

- 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 fordamper fra betonens underside og kondenserer nede i jorden. Denne udtørring nedad må helst ikke hindres ved at lægge en fugtspærre under betonen. 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 fx er 20 °C varm, og jorden er 15 °C, vil der være fugtlige vægt, når betonen har et fugtindhold svarende til 75 pct. RF, se figur 54 og 55. Hvis der derimod er risiko for, at jorden bliver varmere end betonpladen, fx ved varmekanaler under



Figur 57. 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 i mindre bygninger ikke lægges en fugtspærre under betonpladen.



Figur 58. Terrændæk i opvarmede bygninger. Fugtfølsomme gulvbelægninger på betonpladen.

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

gulvet, må der alligevel lægges en fugtspærre under betonen, men der må da til gengæld regnes med en forlænget udtørningstid, hvilket kan være af betydning ved anvendelse af fugtfølsomme gulvbelægninger, se figur 58.

Også hvis der er tale om meget store gulvarealer, må der anvendes en fugtspærre, idet der så ikke kan regnes med en effektiv temperaturforskel mellem betonplade og jord midt på gulvet. Dette skyldes, at jordlagene på længere sigt vil blive opvarmet til nær rumtemperatur.

Hvis det er vigtigt at kunne lægge fx et vinylgulv kort efter støbningen, er det en mulighed at anvende »selvtørrende« beton med lavt vandcementtal (0,4).

Kapillarbrydende lag

Et kapillarbrydende lag skal være mindst 150 mm tykt og kan fx bestå af ral eller singels. Stenmaterialer i denne tykkelse, og med en mindste kornstørrelse på 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 specialbehandlede (coatede) 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.

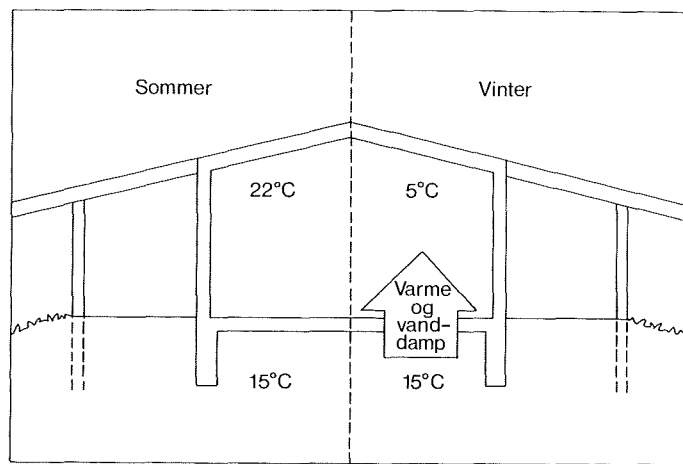
Uopvarmede bygninger

I uopvarmede bygninger, fx sommerhuse, vil varmemstrømmen 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 59.

Varmerør

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 fx 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 sårbar for beskadigelse under rørmontage som plastfolie.

Hvis der anvendes en kraftig varmeisolering under et betonlag med indstøbte varmerør, kan en fugtspærre mellem be-

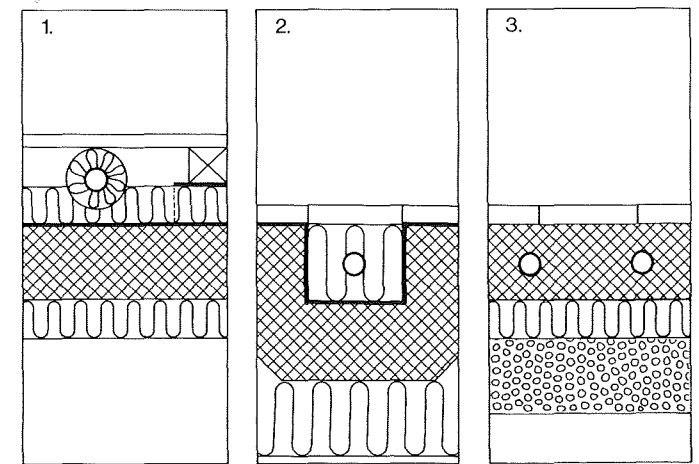


Figur 59. Jorden under terrændækket i en uopvarmet bygning er om vinteren varmere end rumluften i huset. Varmestrømmen gennem terrændækket er opadrettet, og den vanddamp, som varmestrømmen driver opad, vil kondensere på ethvert koldt lag, som standser den. Derfor bør der ikke anvendes diffusionstætte gulvbelægninger i ikke permanent opvarmede bygninger.

ton og underliggende isolering udelades, hvorved udtørring nedad fremmes. Se figur 60. Hvis der anvendes diffusionstæt gulvbelægning, må der foretages udtørring ved, at gulvvarmen sættes i gang mindst en måned før gulvet lægges.

Radon trænger op gennem jorden sammen med luft, når barometerstanden er faldende. Da der er tale om lufttrykforskelle på op til 0,1 atmosfære, er den eneste måde at undgå optrængning af radon at ventilere drænlaget til atmosfæren, samtidigt med at terrændækket gøres så tæt som muligt. Trykudligning af drænlaget kan ske via en enkelt eller to ventilationsåbninger til det fri, eventuelt via omfangsdræn som vist på figur 40 og 41.

Radon



Figur 60. 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, fx træ. Det er vigtigt, at kanalen fores med et dampspærrende lag, da kanalen ellers vil kunne fyldes med vanddamp, som kan trænge op gennem overlæg i plastfolien og skade fx et trægulv.
3. Indstøbte varmerør i klinkegulv. Med kraftig varmeisolering mod jord udelades fugtspærre. 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.

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

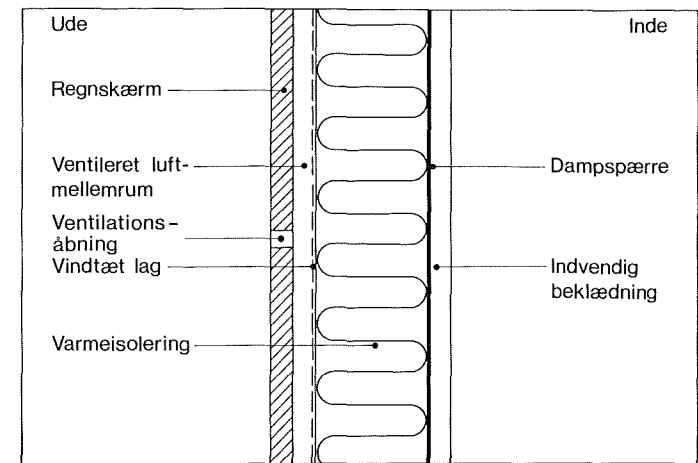
I princippet består en sammensat konstruktion af en udvendig og en indvendig beklædning med et mellemliggende isolerende lag - ofte mineraluld, som er et meget porøst materiale, der hverken er vindtæt eller damptæt. Derfor må der placeres et vindafdækkende lag på den udvendige side og en dampspærre, dvs. et luft- og diffusionstæt lag, på den indvendige side af væggen, se figur 61.

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 62.

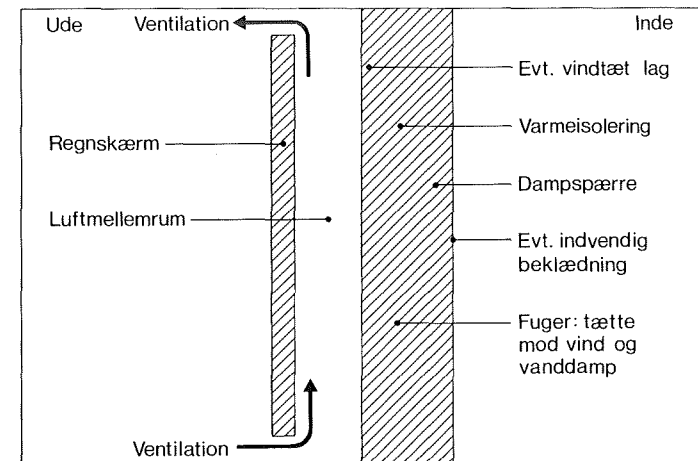
Ved to-trinstætning er den udvendige beklædnings funktioner fordelt mellem to lag: Yderst en regnskærm - der ikke må være vindtæt - og bag denne et vindstandsende lag, som er adskilt fra regnskærmen af et luftmelletrum. Når luftmelletrummet står i forbindelse med udeluften gennem passende åbninger, vil 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.

Sammensatte vægge

To-trinstætning



Figur 61. 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 med ventilationsåbninger.



Figur 62. 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 0,3 pct. af fladen. Vindtrykket vil da ikke hvile på regnskærmen, men alene på den bagved liggende, tørre væg.

Der er tillige den fordel ved en to-trinstætning, at regnskærmen kan udføres af meget bestandige, men til gengæld helt diffusionstætte materialer som fx glas eller metal, idet vanddamp kan ventileres ud gennem åbningerne i skærmen. Det vindstansende 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 vindtrykkforskel. Det må derfor frarådes at bruge en sådan tætning.

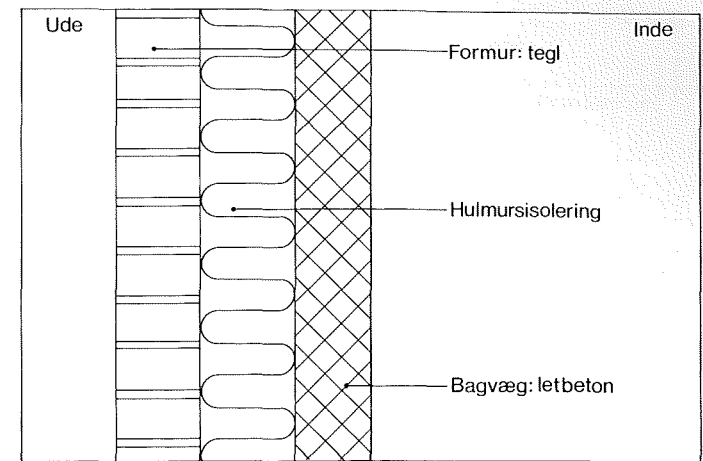
For at give tilstrækkelig varmeisolering må en ydervæg af teglsten udføres som en mindst 350 mm hulmur med 125 mm isolering i hulrummet, se figur 63. Fuld udmuring omkring vinduer, i hjørner og lignende må undgås eller i hvert fald reduceres til et minimum. Kondensproblemer inde i væggen findes ikke. 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.

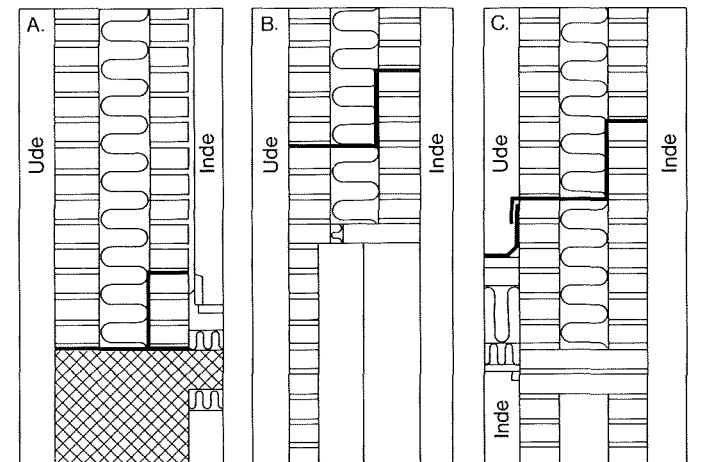
Uanset at teglstensvægge normalt opsuger alt regnvand, vil det dog aldrig helt kunne undgås, at noget vand trænger gennem en halvstens formur, og det må derfor sikres, at vand i bunden af hulrummet ledes væk fra bagvæggen ved hjælp af opbøjet murpap. Der må også indlægges murpap over muråbninger, så indtrængende regnvand altid ledes ud mod formuren. Se figur 64.

Ydervæg af teglsten

Tagudhæng, afdækning af murkroner



Figur 63. 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 64. Indlægning af murpap eller lignende i hulmur af teglsten. Murpappen 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.

Træskeletvæg

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.

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.

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 fx plastfolie, er det derfor en fordel, hvis den støttes på hele fladen af den indvendige beklædning.

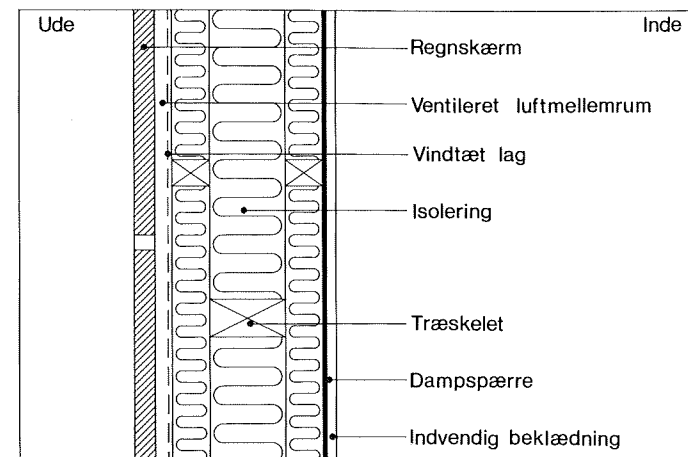
Det er særlig vigtigt at være opmærksom på vindtætheden under fodremmen i en træskeletvæg. Her må der stoppes og anvendes fugemasse til tætning indefra. Dette gælder også, hvor træskeletvæggen er forsynet med en skalmur – vindtætheden ligger i bagvæggen, ikke i skalmuren!

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, se figur 65. 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 fx 50 mm af isoleringen på den varme side af dampspærren, og el-installationer kan da udføres mellem lægterne uden at gennembryde dampspærren.

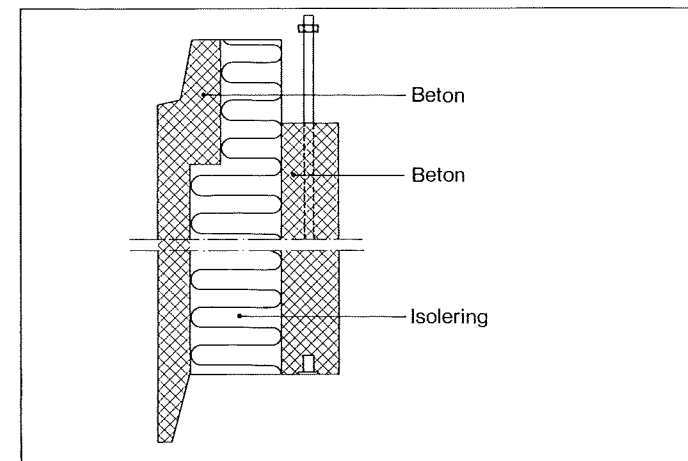
Ved indvendig efterisolering af en ydervæg (mod varmetab) skal der normalt opsættes en dampspærre ind mod det varme rum. Sædvanligvis anbringes isoleringen mellem fx lægter, hvorpå der så opsættes en beklædning. Der kan også anvendes præfabrikerede elementer med indbygget dampspærre. Herved undgås træ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

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

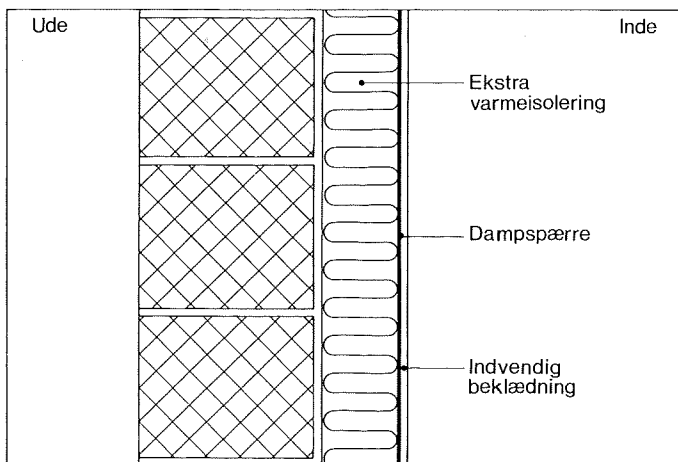
Efterisolering af ydervæg



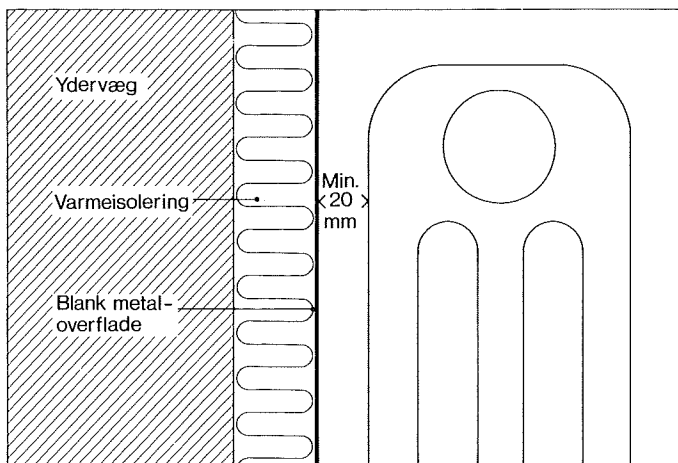
Figur 65. Eksempel på træskeletvæg med regnskærm og ventileret luftmelletrum. For at skabe tilstrækkelig isoleringstykkelse er der sømmet krydsende lægter på begge sider af de bærende stolper og løsholter. Dampspærren er vist på indersiden mod den indvendige beklædning, men den kan også placeres på stolperne, dvs. mellem de to lag isolering.



Figur 66. 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.



Figur 67. 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 68. 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 ikke anbringes blank metalfolie, medmindre der samtidig udføres ekstra isolering af de rum, radiatorerne opvarmer.

Sommerkondens

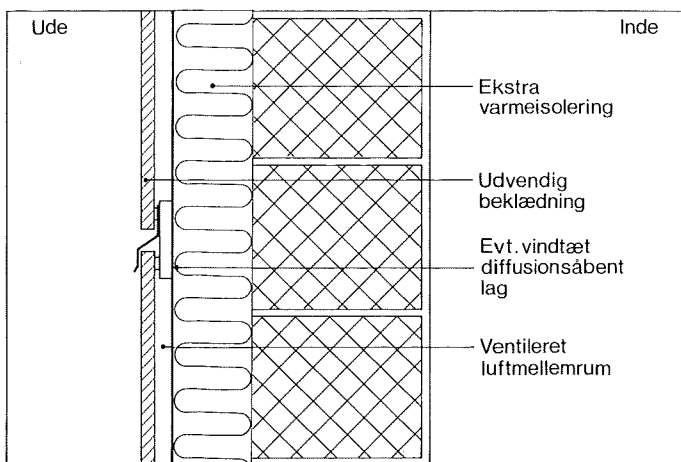
suget ind i en teglmur, ved efterfølgende solpåvirkning kan drives indad og danne kondens på dampspærren, såkaldt sommerkondens. Af denne grund må indvendig efterisolering frarådes ved 1/2-stens mure af tegl og lignende, hvis disse er særligt udsatte for både slagregn og sol. Murede sommerhuse er særligt udsatte for problemer af denne art, idet der om vinteren ikke er nogen udadrettet varmemstrøm, som kan drive fugten ud igen. I murede sommerhuse vil det derfor være bedst at udelade dampspærren.

Hvis der er tale om en træskeletvæg, hvor varmeisoleringsmateriale 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.

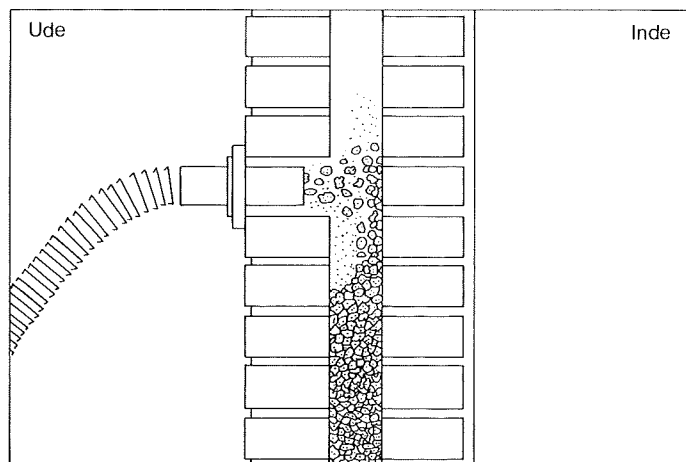
Ved udvendig efterisolering af en ydervæg kan anvendes to-trinstætning med en regnskærm foran den nye isolering, eller der kan anvendes isoleringsmateriale dækket af puds eller tegl, se figur 69. Normalt er udvendig efterisolering at foretrække i fugt- og varmeteknisk henseende, da den eksisterende væg 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, se figur 70. Erfaringerne har vist, at ældre hulmure kan udfyldes helt med isoleringsmateriale uden fare for frostskafer 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 isoleringsmateriale er vandafvisende.



Figur 69. 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 er fremkommet et ventileret luftmelletrum mellem regnskærm og vindafvisende lag.



Figur 70. 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 frostskaader i formuren, blot denne er i god stand med intakte fuger.

Fugt og vinduer

Kondens på indersiden af glas

Kondens på indersiden af vinduesglas optræder, når temperaturen på ruden er lavere end rumluftens dugpunkttemperatur. Riskoen 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 en del af denne fugt skal afgives, før rumluften kan antage en lavere relativ fugtighed.

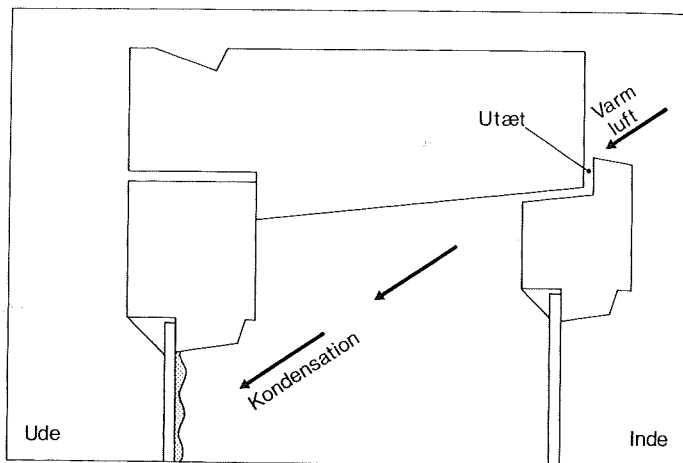
Hvert efterår skal der i virkeligheden ske en udtørring af huset, og det er nødvendigt at få denne udtørring startet, så snart varmesæsonen begynder.

Kondens mellem to lag glas

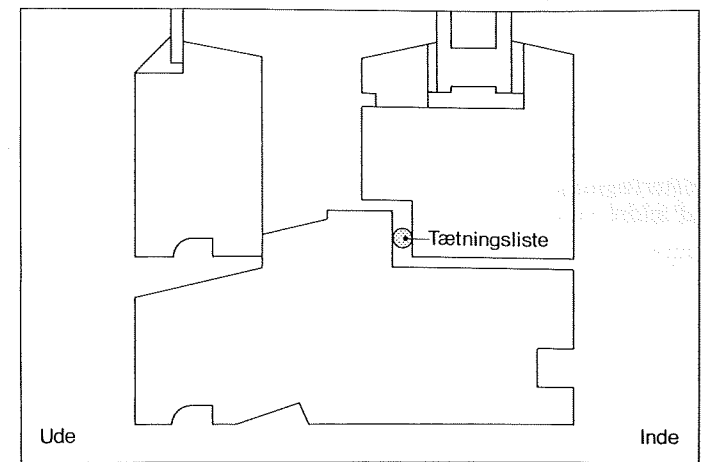
Kondens kan også optræde på indersiden af det udvendige glas ved vinduer med koblede rammer og ved vinduer med forsatsrammer. Det skyldes, at rumluft er trængt ind mellem de to lag glas, og vanddampen er fortættet på det kolde, udvendige glaslag. Se figur 71 og 73. Derfor må den indvendige vinduesramme være så tætsluttende, at rumluften ikke trænger ind. Således skal eventuelle tætningslister altid sidde ved den indvendige ramme. Der skal derimod være en vis ventilation til det fri af mellemrummet mellem glaslagene. Vinduets varmeisoleringssevne nedsættes ikke væsentligt herved.

Utætte vinduer giver kondens

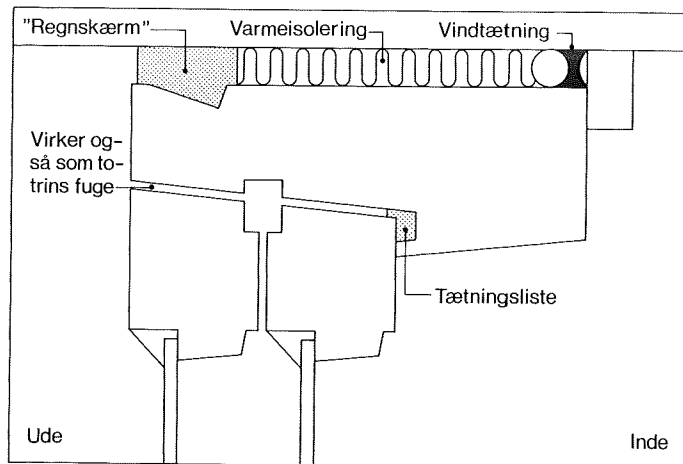
Hvis begge sæt rammer i et vindue med koblede rammer eller i et vindue med forsatsrammer er utætte, vil der blæse kold luft ind i vindsiden, og her vil der ikke være kondens. Men i læsiden strømmer rumluften ud i mellemrummet, og kondensationen kan i koldt vejr blive meget kraftig. Dette er et typisk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



Figur 71. Traditionelt trævindue med forsatsramme. Hvis forsatsrammen ikke slutter tæt, kan varm og fugtig rumluft trænge ind i mellemrummet mellem vinduesrammerne, og der kan da dannes kondens på innersiden af det yderste lag glas, hvis udetemperaturen er væsentlig lavere end indetemperaturen.



Figur 73. Eksempel på trævindue med tre lag glas. Den udvendige ramme 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. Mellemrummet bør være ventileret til det fri.



Figur 72. Vindue af træ med koblede rammer. Tætningslisten er anbragt ved 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.

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 72, som viser en to-trinsfuge med mørtel, der er diffusionsåben, som regnskærm og en fugemasse som lufttæt (vindtæt) lag bagest i fugen. Fugemasse bør ikke anvendes som regnskærm i forbindelse med betonvægge, da den vil standse indefra kommende fugt, som så opsuges i træet med risiko for råd og svamp til følge.

Bundfugen i regnskærmen – uanset om det er en mørtelfuge eller en fuge af andet materiale – bør lægges tilbagetrukket i forhold til de to sidefuger og topfugen. Herved sikres trykudligning, og det regnvand, som måtte passere regnskærmen i de lodrette sider, ledes ud mod ydervæggens facadeside.

Det anførte om fugernes placering gælder også for vinduer af andet materiale end træ, når vinduerne er indsat i murværk eller i betonvægge.

Når der – fejlagtigt – fuges med fugemasse udefra, lægges fugen ofte i samme plan hele vinduet rundt, hvad der ved trævinduer kan øge risikoen for angreb af råd og svamp.

Trævindue i trævæg

Efterfugning af ældre vinduer

Regnvand kan medføre skader i trævinduer

Glaslister

Fuger omkring vinduer i trævægge skal også udføres efter to-trinsprincippet. Som regnskærm kan anvendes en træliste med bagved liggende hulrum, dybde min. 10 mm. Trælister er uegnede som regnskærm til fuger mod murværk, da trælisten ikke kan tilpasses til at slutte tæt til murværket.

Ved tætning af ældre vinduer kan det være vanskeligt at komme til at anbringe fugemasse i vinduets bagkant, idet det vil kunne forudsætte, at fx lysningspaneler skal aftages, eller at der skal ske indgreb i andre konstruktioner rundt om vinduet. Derfor kan fugning udefra være den eneste realistiske mulighed for at opnå tilstrækkelig vindtæthed, men fugning med fugemasse i vinduets forkant indebærer dog altid en vis risiko for opfugtning af karmtræet og dermed risiko for råd og svamp.

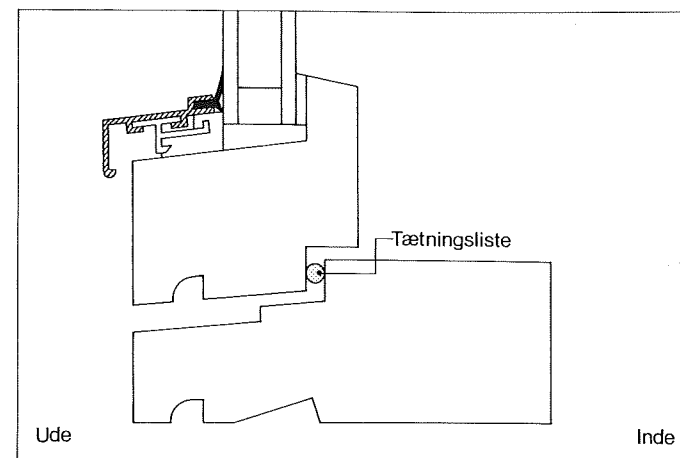
Erfaringen har dog vist, at den fugt, som måtte dannes bag fugemassen, bliver transporteret videre ud som følge af kapillarsugning gennem murværket.

Beton har ikke en tilsvarende kapillarsugende effekt, så ved efterfugning af vinduer i betonvægge kan det ikke fraviges, at fugemassen skal anbringes i vinduets bageste del – om nødvendigt udefra – og en regnskærm må etableres med fugebånd eller -profiler i vinduets forside.

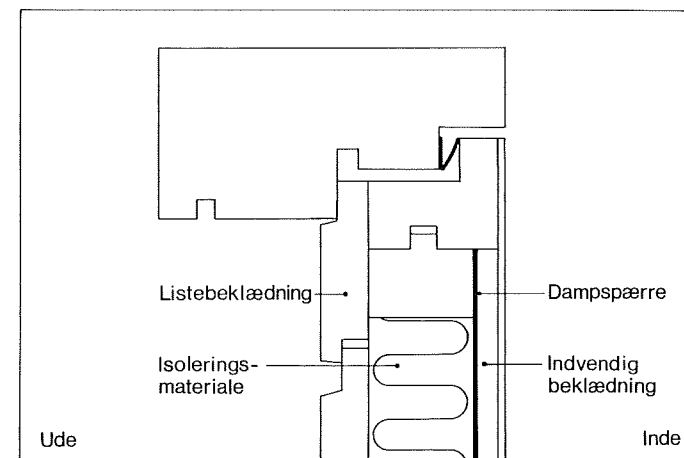
Regnvand er den hyppigste årsag til fugt og heraf følgende skader i vindustræ. Tidligere tiders trævinduer rådnede sjældent, men når det skete, var årsagen som regel kondensdannelse på den indvendige side af enkeltlags ruder. Nyere vindueskonstruktioner – især indadgående vinduer – har ofte udvendige, brede opadvendende træflader, som er særligt sårbare for regn; specielt er vinduernes hjørnesamlinger sårbare for regnpåvirkning. Alle udvendige, opadvendende træflader bør derfor have en hældning udad på mindst 1:8, så regnvandet ledes væk i stedet for at stuves op på fladerne.

Nyere vindueskonstruktioner har ofte større trædimensioner end tidligere, og tykt træ er mere sårbart for vejrets påvirkning, idet det tykke træ er længere om at udtørre ved omslag fra regn til sol, hvad der indebærer, at træet er mere tilbøjeligt til at revne.

Glaslister af træ er særligt udsat for skade på grund af vandindtrængen, og glaslister af aluminium eller andet bestandigt materiale må derfor foretrækkes frem for træ, se figur 74.



Figur 74. Eksempel på trævindue med to-lags termorude i en udadgående ramme. Vinduet er forsynet med glaslister af aluminium. Ved termoruders indsætning skal rudedokumentationens monteringsanvisning følges.



Figur 75. 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-trins-tætning på samme måde som omkring vinduer.

Indsætning af termoruder bør foregå efter de forskrifter, som er udarbejdet af Glasindustriens Samarbejdsorganisation som grundlag for garantiordningen for termoruder. Blandt andet gælder følgende:

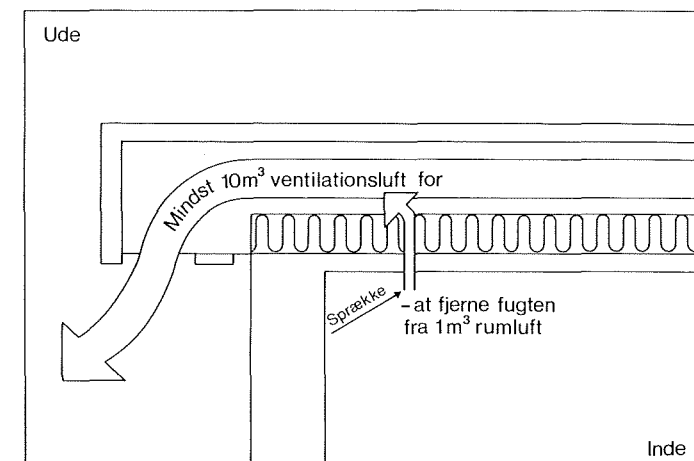
- bundfals skal være skrå, ventileret og drænet,
- bundglasliste skal være gennemgående i hjørner og have fremspring og vandnæse,
- bæreklodser samt styre- og transportklodser skal placeres og fastgøres korrekt,
- fugebånd skal være af anerkendt fabrikat og topforseglet både ud- og indvendigt. Mindste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

Ved malebehandling af trævinduer skal behandlingen på den indvendige side være diffusionstæt, medens den udvendige behandling skal være diffusionsåben. Herved hindres, at vanddamp diffunderer ind i vinduets træ indefra, men eventuel fugt i træværket kan fordampe udefter. Hvis behandlingen udvendigt ikke er diffusionsåben, vil vanddamp, der trænger ind i træværket indefra gennem skadet eller på anden måde ikke helt diffusionstæt overflade, ophobes bag den udvendige maling, som så vil skalle af. Hvis vinduet ikke er gennemimpregneret, vil træværket også kunne angribes af råd og svamp.

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 indeluft 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 strømme op i tagkonstruktionen, hvor der ofte er undertryk på grund af vindpåvirkning eller på grund af ventilation af tagrummet. Også det beskedne over-



Figur 76. Ventileret tag. Kun ved kraftig ventilation kan kondensation om vinteren af rumluft, som trænger gennem utætheder op i tagrummet, undgås. Se vanddampdiagrammet figur 77: 1 m^3 rumluft (22°C , 50 pct. RF) indeholder 10 g vand. 1 m^3 udeluft (2°C , 90 pct. RF) indeholder 4,5 g vand og kan kun optage yderligere 0,5 g. Der skal derfor 10 m^3 udeluft til at fjerne fugten fra 1 m^3 rumluft.

tryk, 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. Dampspærren må derfor monteres lufttæt, og loftrummet skal ventileres for at fjerne den vanddamp, der alligevel måtte trænge op i tagrummet, se figur 76 og 77.

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

Rumklimaklasser

Fugtindholdet i en tagkonstruktion vil bl.a. være afhængig af fugtforholdene i rummet under taget. Jo højere luftfugtighed, der er i rummet, des større fugtmængder kan der transporteres op i taget ved diffusion og ved konvektion, og des større er risikoen for fugtskader i taget.

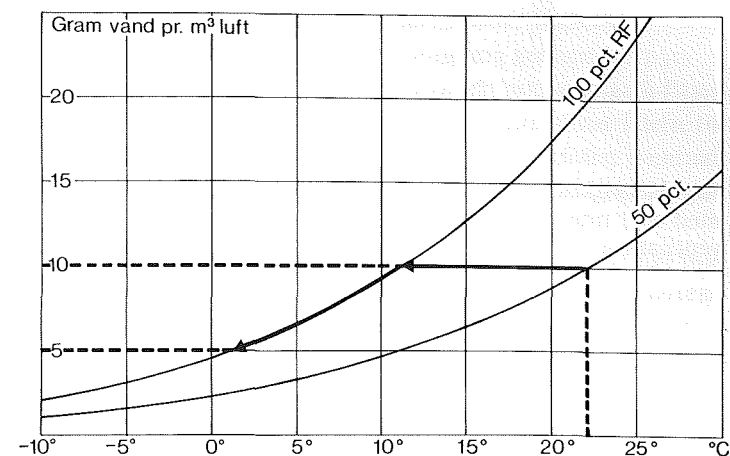
I praksis inddeler man rumklima i tre rumklimaklasser, se figur 78. Eksempler på rum i de forskellige rumklimaklasser:

- Rumklimaklasse 1 Tørre lagerhaller
Træningshaller uden tilskuere
- Rumklimaklasse 2 Beboelsesbygninger
Kontorer
Skoler
Institutioner
Industribygninger uden fugtproduktion
- Rumklimaklasse 3 Svømmehaller
Fugtig industri
Bade- og omklædningsrum i idrætsanlæg etc.

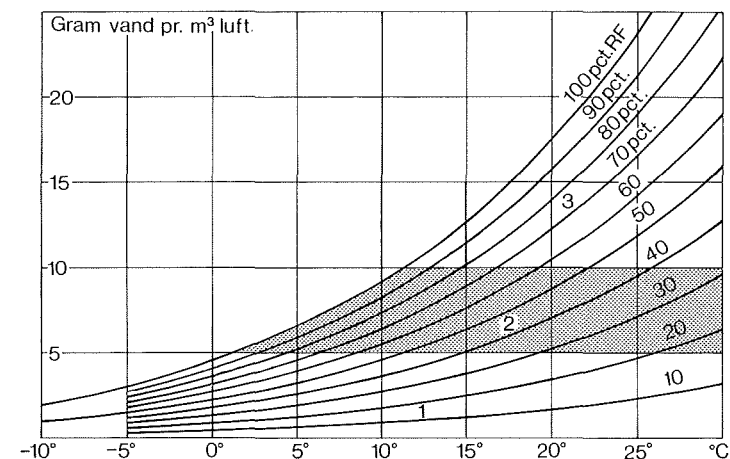
Tagkonstruktioner reagerer forholdsvis langsomt på ændringer i fugtbelastningen, så det er derfor de gennemsnitlige fugtforhold, der er afgørende for placeringen i rumklimaklasse.

I rum med meget stor luftfugtighed, rumklimaklasse 3, dvs. 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.

Risiko ved stor fugtbelastning



Figur 77. 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 76, vil der dannes kondens i tagkonstruktionen. Et ventileret tag skal i øvrigt altid have indlagt en dampspærre på isoleringens varme side.



Figur 78. Rumklimaklasserne er indtegnet på vanddampdiagrammet. I rumklimaklasse 1 er rumluftens vandindhold under vinterforhold højst 5 g/m³, i klasse 2 højst 10 g/m³. Rumklimaklasse 3 svarer til rumluft med mere end 10 gram vand pr. m³, dvs. at den relative luftfugtighed fx overstiger 60 pct. RF ved 20°C.

Tagkonstruktion med eller uden ventilation

Erfaringen viser, at ventilerede (kolde) tagkonstruktioner af gængs udførelse normalt er uegnede over rum med fugtforhold i rumklimaklasse 3. Her må foretrækkes en uventileret tagkonstruktion, som lettere udføres tæt over for opstrømmende luft fra underliggende rum.

Et ventileret (koldt) tag har oven over varmeisoleringen et hulrum, som forudsættes 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 varmestrømmen går gennem tagdækningen, hvorfor denne bliver koldere end i det uventilerede tag. Deraf navnet koldt tag.

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

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

Ventilerede tagkonstruktioner bruges mest ved mindre bygninger. Det er vanskeligt at ventilere store tagflader, og disse udføres derfor ofte uventilerede.

I et ventileret 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 også det formål at fjerne eventuel byggefugt og fugt fra fygelse eller vand, der gennem utætheder er trængt ind i taget udefra.

Da dampspærren ikke blot skal være diffusionstæt, men også lufttæt, må samlingerne udføres klemte, svejste eller lukket med tape af god kvalitet. Erfaringsmæssigt er det især vanskeligt – selv med stor omhu – at opnå tilstrækkelig lufttæthed langs vægge og ved gennemføringer i taget. Anvendelse af et plademateriale som loftbeklædning kan give god luft-

Ventileret tag (koldt tag)

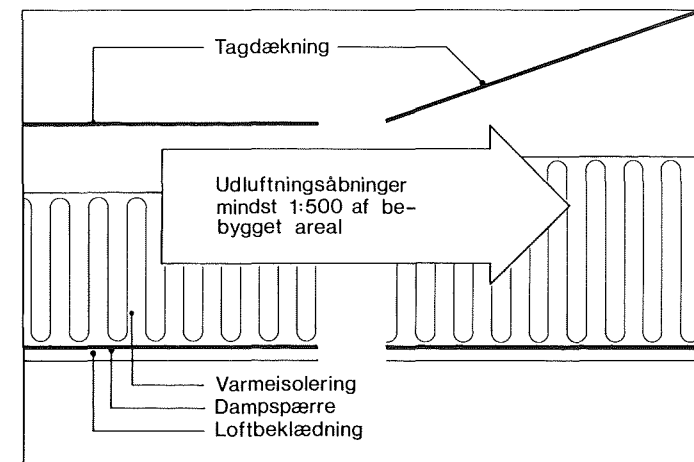
Hætter i ventilerede tage må frarådes

tæthed i loftkonstruktionen. Ved at tætte pladesamlingerne 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 i dette tilfælde opnås fx med en 0,20 mm polyethylenfolie; eventuelt kan en dampspærre være klæbet på beklædningspladernes bagside.

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

For at der ikke skal opstå skadelig kondensation i ventilerede tage, hvori der findes træ eller træbaserede materialer, må der ventileres kraftigt. Tilstrækkelig ventilation kan anses for tilgodeset, 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. Se figur 79.

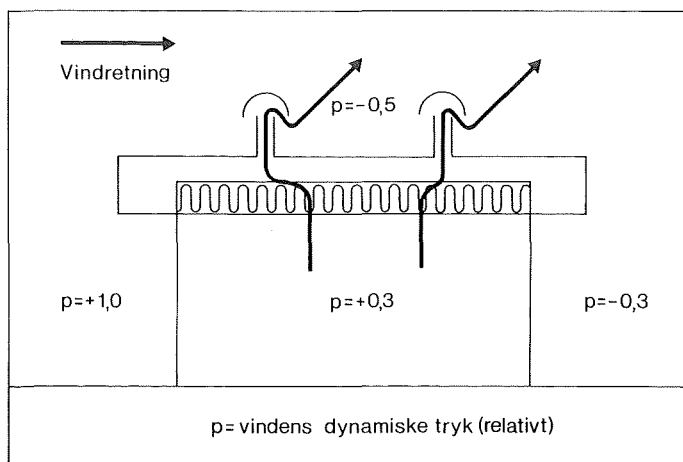
Hætter har tidligere været anvendt på tagfladen i ventilerede, flade tagkonstruktioner, når det ikke var muligt at ventilere tilstrækkelig kraftigt langs tagkanterne. Denne form for supplerende eller erstatning af ventilation langs tagkanter må



Figur 79. Ventileret tag med hulrum over et varmeisoleringsslag. Ventilationsåbningerne bør være 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 (rumklimaklasse 3).

der advares imod, fordi det i praksis er næsten umuligt at opnå en helt tæt dampspærre. Se figur 80.

Hætter i en ventileret, 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, må det derfor foretrækkes at anvende en uventileret



Figur 80. 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 uventileret tag.

tagkonstruktion i stedet for et ventileret tag »perforeret« med ventilationshætter.

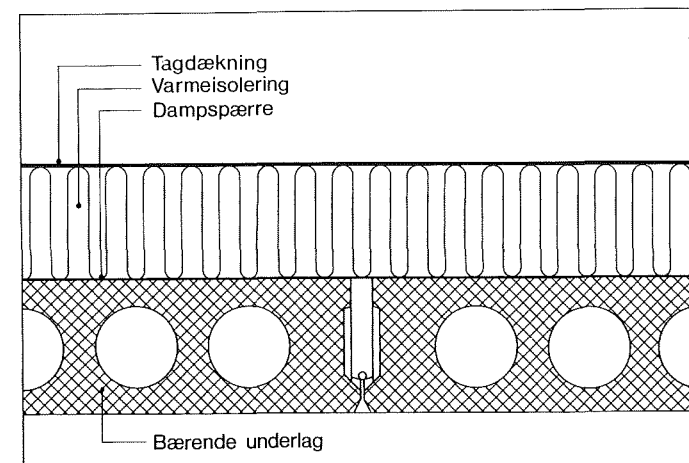
Oftentimes anvendes en vindtæt afdækning oven på isoleringen i ventilerede tagkonstruktioner. Imidlertid vil et sådant lag normalt ikke yde den tilstrækkelige lufttæthed til at forhindre luftopstrømning. En afdækning over varmeisoleringen bør have en vanddampmodstand på højst $1/10$ af modstanden i dampspærren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

Fygesne

Indtrængen af fygesne i ventilerede tagkonstruktioner kan ikke altid helt undgås, men kan dog i nogen grad modvirkes, hvis der skabes et »snefang« i tagudhænget i form af et hulrum, hvori lufthastigheden nedsættes, inden luften når ind i selve taget.

Uventileret tag (varmt tag)

I et uventileret 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 iso-



Figur 81. Uventileret tag. Varmeisoleringen ligger oven på den bærende del af tagkonstruktionen, der fx kan være betonelementer som på denne figur. Isoleringsmaterialet er trædefast. Almindeligvis udlægges en dampspærre under isoleringen, fx asfaltpap klæbet til underlaget. Hvis betondækket er tørt, vil en strimling over samlinger være tilstrækkeligt til at forhindre, at fugtig luft trænger op fra de underliggende rum.

leringsmaterialet eller det trykfordelende lag anbringes den vandtætte tagbeklædning, eksempelvis tagpap eller tagfolie.

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 fx udføres af et lag asfaltpap klæbet til underlaget. Når dampspærren placeres oven på den bærende konstruktion, er det muligt at kontrollere arbejdsudførelsen. Se figur 81.

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

Uventilerede tage kan også udføres af præfabrikerede trætagkassetter med ilagt isolering. Denne tagtype kræver en speciel fugtdimensionering. På området findes en kvalitetskontrolordning (TK-ordningen), som varetages af Dansk Teknologisk Institut.

Ved tagpapdækninger direkte på isoleringsmaterialer 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 fx 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 medmindre der er tale om speciel pap til trykudligning. Trykudligning sker normalt ved tagkant. Hvis afstanden mellem tagkanterne overstiger 20 meter, bør der desuden opsættes en trykudligningshætte pr. 300–500 m² tagareal.

Trykudligningshætter skal have forbindelse med luften i isoleringsmaterialet, og skal således føres igennem alle lag

tagpap over isoleringen. I *ikke* lufttætte materialer, fx mineraluld, sker trykudligningen umiddelbart, mens der ved mere tætte materialer, fx skumplastprodukter, kan punktklæbes et lag trykudligningspap lige over isoleringen for at sikre, at luften fordeler 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.

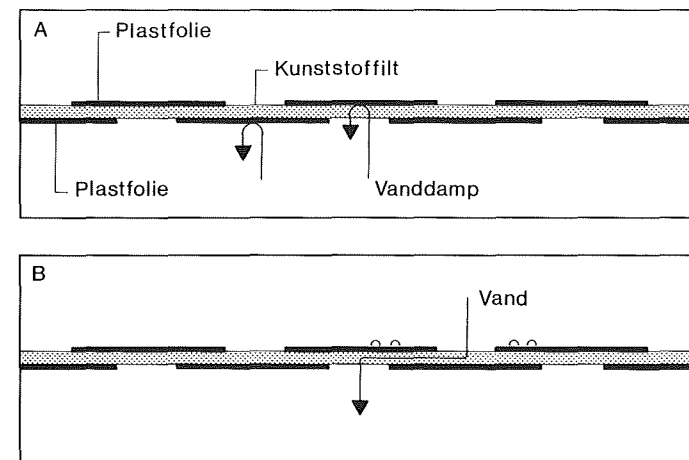
Det skal bemærkes, at det også i uventilerede tage almindeligvis er nødvendigt, at der på varmeisoleringens varme side er et diffusionstæt og helt lufttæt lag – bedst i form af et lag påklæbet asfaltpap. Ellers opstår en lignende situation som ved ventilerede tage, at rumluften trænger op og kondenserer i tagkonstruktionerne.

Hygrodiode er handelsnavnet for en speciel dampspærre, som består af vandsugende kunststoffilt (polypropylen) som banevare. Filtet er belagt på begge sider med brede striber af plastfolie med en vis afstand mellem striberne. Striberne er

Hygrodiode

Trykudligning

Hætter til trykudligning i uventilerede tage



Figur 82. Hygrodiode som dampspærre. Vanddamp standses enten af plastfolien under kunststoffiltet eller af den ovenover liggende plastfolie (A). Når temperaturen i isoleringen stiger på grund af solopvarmning, vil evt. tilstedeværende vand fordampe og kondensere på den kolde Hygrodiode, suges igennem kunststoffiltet og fordampe nedefter (B).

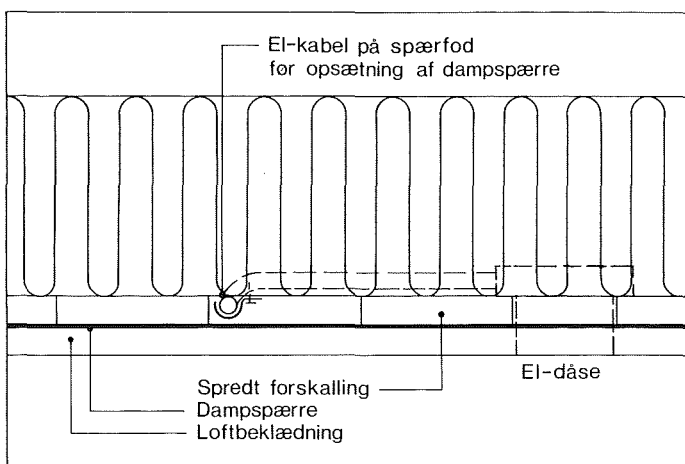
forskudt for hinanden på de to sider, således at striberne på den ene side ligger midt over mellemrummene på den anden side.

Når vanddamp søger at trænge gennem Hygrodioden, virker den som en almindelig dampspærre, men over for vand virker den kapillarsugende. Da Hygrodioden således tillader indesluttet fugt (byggefugt) at slippe ud (figur 82), opnås der en nedsat risiko for råd- og svampeskader. Udtørringen ved kapillarsugning foregår ved, at fugten i isoleringen kondenserer på Hygrodioden, når solens opvarmning får temperaturen på tagfladen til at overstige temperaturen på folien. Dette forekommer især i sommerhalvåret. Hygrodiodens diffusionsmodstand er tilstrækkelig til at forhindre skadelig opfugtning inde i konstruktionen i løbet af en vinter.

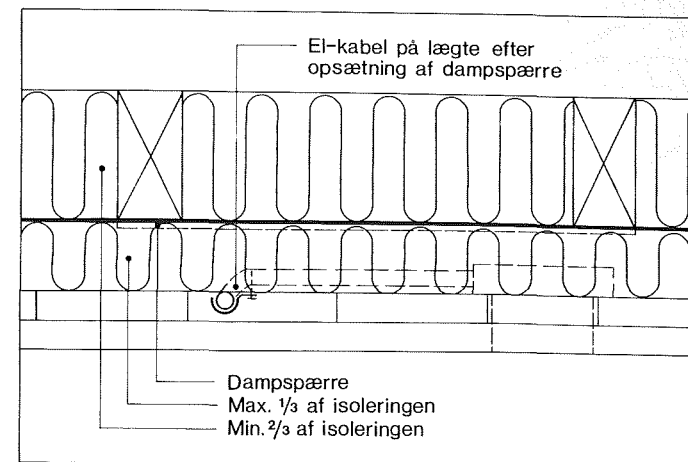
El-installationer i lofter

Det kan være overordentligt 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, fx samtidig med opsætning af eventuelle loftplader. Når dampspærren opsættes imellem en spredt for-



Figur 83. 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 84. Loftkonstruktion med dampspærren anbragt et stykke oppe i varmeisoleringen. El-installationer 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.

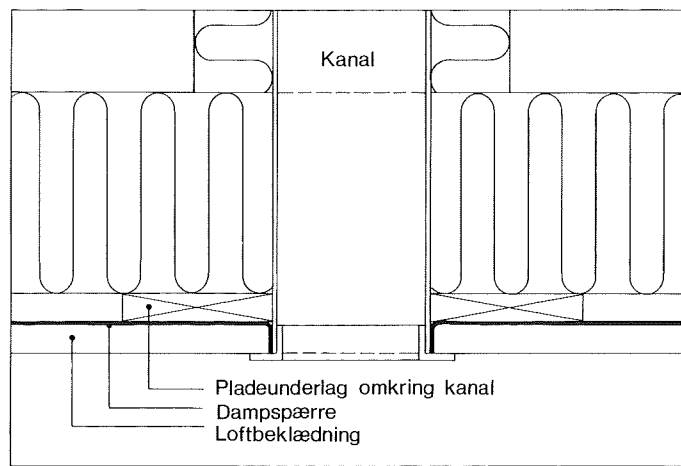
skalling og loftpladerne, må det til gengæld sikres, at der ikke kan strømme kold udeluft igennem de »kanaler«, der findes mellem brædderne i den spredte forskalling. Se figur 83.

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, se figur 84. 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 ved almindelig fugtbelastning i det underliggende rum, svarende til rumklimaklasse 2, 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 85.

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

Gennemføring af kanaler og rør



Figur 85. 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. Gennemføringer i tagfladen som fx aftræksrør og ovenlys bør være isoleret for at forhindre dannelse af kondensvand, som vil kunne løbe ned og give anledning til misfarvning på loftet.

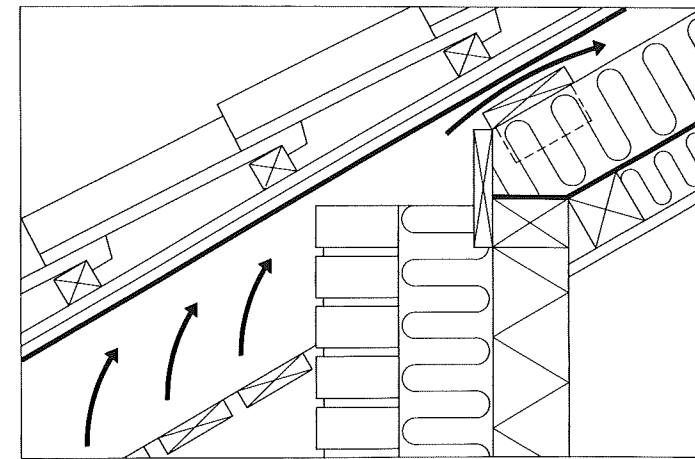
røret ved bevikling med tape af god kvalitet. Røret må være fastholdt, således at dampspærren ikke skal blive trukket i stykker.

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

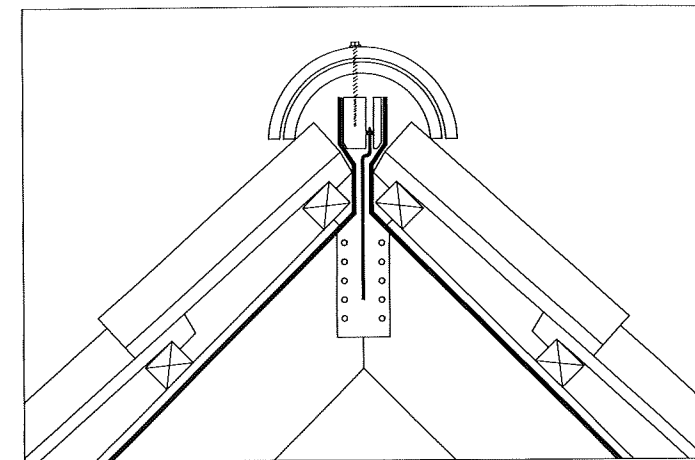
Afstanden mellem undertag og varmeisolerings skal være mindst 50 mm for at sikre tilstrækkelig ventilation af hulrummet. Hvis undertaget »hænger« mellem spærene, skal den gennemsnitlige afstand være mindst 50 mm.

For at sikre god ventilation må tagfoden udføres korrekt, og der bør etableres yderligere ventilation gennem gavle eller tagrygning. Se figur 86 og 87.

Diffusionstæt
undertag



Figur 86. 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.

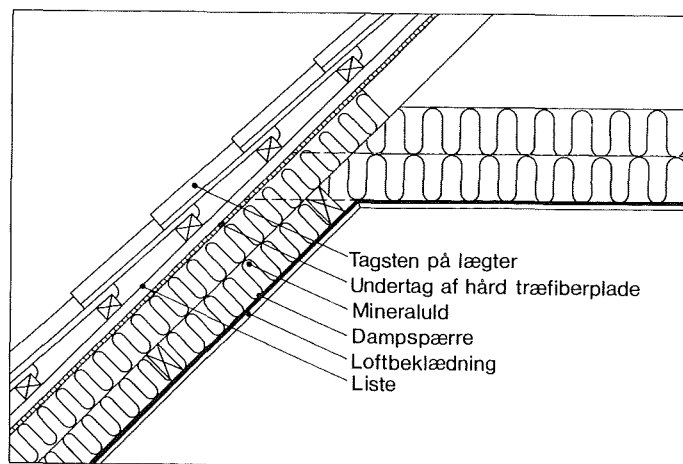


Figur 87. Udluftet tagrygning i et tegltag med diffusionstæt undertag. I kappen er indlagt en speciel topplanke (KT-topplanke) monteret i et specielt topplankebeslag. Topplanken har ventilationsåbninger på ca. 100 cm² pr. 1 m, hvad der er tilstrækkeligt til bygninger med en bredde op til 10 m. Rygningsstenene er skruet fast i topplanken.

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 sømnes pr. 100 mm. Ved måtteender, fx ved tagfod eller stød mellem måttebaner, skal isoleringsmaterialet tildannes, så måttens membran kan samles tæt med tilstødende materiale, fx ved klemt samling. Da det er meget vanskeligt at opnå tæthed med denne konstruktion, må det anbefales at supplere med en almindelig dampspærre.

Hvis undertaget udføres af et diffusionsåbent materiale, kan det i rumklimaklasse 1 og 2 lægges direkte på isoleringsmaterialet, hvorved der spares konstruktionshøjde, se figur 88.

Eksempler på egnede materialer er oliehardede træfiberplader samt krydsfiner, træfiberplader og gipsplader forsynet med en vandafvisende overfladebehandling. Et diffusionsåbent undertag bør endvidere have en vis fugtakkumulerende evne, således at det i kortere perioder kan opsuge mindre mængder kondensfugt, som senere kan udtørre til det fri, når klimaforholdene tillader dette.



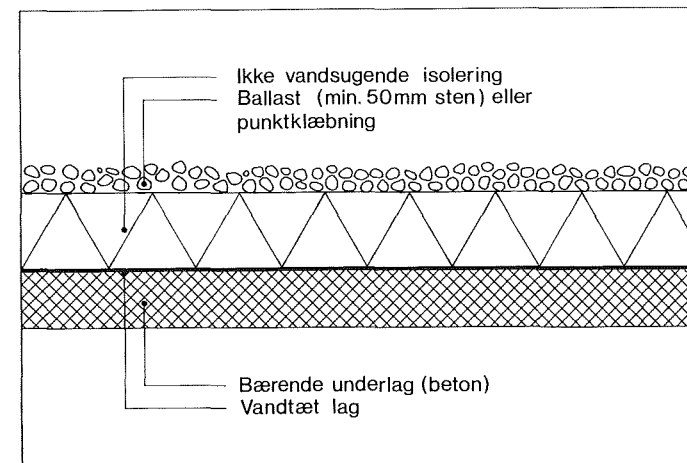
Figur 88. Tegltag med undertag af diffusionsåbent plademateriale sømmet til spærene. Over pladernes sømninger på spærene er der anbragt trykimprægnerede lister, for at vand kan ledes bort under lægterne. Det er en forudsætning, at dampspærren på isoleringens varme side er tæt.

Det er en forudsætning, at dampspærren er omhyggeligt udført, således at den hindrer luftopstrømning i tagkonstruktionen. Endvidere skal alle detaljer ved gennembrydninger i undertaget udføres således, at der ikke er risiko for, at vand trænger ind i tagkonstruktionen, som i dette tilfælde ikke vil kunne udtørres ved ventilation.

En nyere tagkonstruktion er det såkaldte »omvendte tag«, dvs. et i de fleste tilfælde plant tag, hvor isoleringsmaterialet ligger *oven på* en vandtæt tagbeklædning med et fald på mindst 1:40 eller bedre 1:20. Isoleringsmaterialet må naturligvis ikke kunne opsuge større vandmængder.

Fordelen er, at isoleringsmaterialet beskytter 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 89.

På grund af vandets indtrængen under isoleringen må der regnes med, at tagets isoleringsevne nedsættes med ca. 10–20 procent. Omvendte tage anvendes normalt på tagdæk med



Figur 89. 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.

Efterisolering i tagrum

god varmemfordelende og varmeakkumulerende evne, fx beton.

Efterisolering i tagrummet i et ventileret 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 fx ikke må udlægges skumplastprodukter oven på mineraluld, da denne materialekombination under uheldige forhold vil kunne føre til kondensation på skillefladen mellem de to isoleringslag.

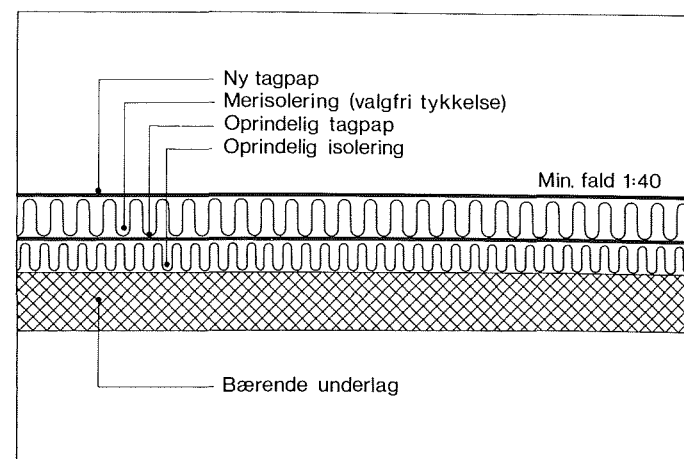
Hvis loftet består af forskallingsbrædder med rør og puds, og pudsen i øvrigt er i god stand, dvs. uden væsentlige revnedannelser, kan man ved efterisolering undlade at udlægge en dampspærre i loftkonstruktionen. Pudslaget er ganske vist ikke særlig diffusionstæt, men til gengæld så lufttæt, at ventilation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

Udvendig efterisolering

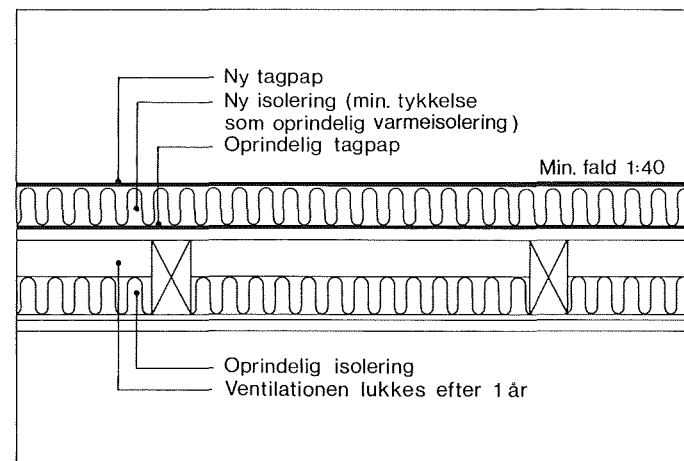
Udvendig efterisolering af et fladt, uventileret tag ved anbringelse af et isoleringsmateriale samt en ny tagdækning oven på den eksisterende vil normalt kunne udføres, uden at der foretages yderligere fugttekniske overvejelser. Den gamle tagmembran vil fungere som dampspærre og vil blive varmere end tidligere, og forholdene bliver herved kun gunstigere i fugtteknisk henseende. Se figur 90.

Udvendig efterisolering af et fladt, ventileret 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 91.

Undersøgelser har vist, at fugtindholdet i et eksisterende tag kan holdes nede på et acceptabelt niveau (mindre end 15 procent fugtindhold i træ) ved anvendelse af en tilstrækkelig



Figur 90. Udvendig efterisolering af uventileret tag. Den gamle tagbelægning er bevaret og fungerer som dampspærre. For at sikre afledning af regnvand fra den nye tagflade må merisoleringen kile-skæres, hvis det eksisterende tagfald er under 1:40. Hældningen bør dog helst være mindst 1:20.



Figur 91. Udvendig efterisolering af ventileret 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.

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 øges. Det 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 procent.

Bemærk, at ved udvendig efterisolering af såvel ventilerede som uventilerede tage kan det blive nødvendigt at anvende kilskåret isoleringsmateriale for at få en taghældning på mindst 1:40, men bedst 1:20, 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.

Taghældning
mindst 1:40

Litteratur

Fugt generelt

- Fukthandbok. Teori, dimensionering, konstruktion. Svensk Byggtjänst, 1981, 330 s.
- Undgå fugtskader – luk vindet op! SBI-anvisning 76, 1987. Plakat i A4.
- Fugt i boligen. Teknologisk Institut, 1986.
- Byggeteknisk fugtmekanik. Teknologisk Institut, 1984.
- Mørtel, muring, pudsning. SBI-anvisning 64, 1981.
- Træ og træmaterialer. Teknologisk Institut, 1977.
- Byggvægledning 7, FUKT. Svensk Byggtjänst, 1991.
- Fuktdimensionering av träkonstruktioner. Riskanalys. Byggeforskningsrådet R38:1991.
- Fuktteknisk dimensionering med statistik. En metod för värdering av risk för byggskador. Byggeforskningsrådet R89:1987.
- Building Physics in the Nordic Countries. Proceedings. Byggeforskningsrådet D13:1988.
- Building Physics in the Nordic Countries 1990. Norges Tekniske Høgskole, 1990.
- Analyse af byggefejl. Teknologisk Institut, 1976.
- 20 fuktskador. Byggeforskningsrådet T-11:78.
- Vattenskadesäkra hus på BO 87. Byggeforskningsrådet 21:1991.
- Fuktsäkrare byggnadsdelar. Statens Provningsanstalt. SP-AR 1992:17.
- Brug dampspærrer bedre. Teknologisk Institut, 1990.
- Byggeforsk-serien. Byggedetaljer. Norges Byggeforskningsinstitut.
- Udeluftventiler. SBI-rapport 196, 1989.
- Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. SBI-rapport 213, 1991.
- Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. BML Rapport 36, Lund 1973.

Measurements of moisture sorption and moisture permeability of porous materials. NBI-rapport 45, 1966.
Sorption Isotherms. A Catalogue. Laboratoriet for Byggematerialer, DTH, 1986.
Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. Rapport 43, Byggnadsteknik, Lund, 1973.
Invändig tillägsisolering. TVBH-1001, Lund 1979 (Edb-beregninger).
Fugttransport i byggematerialer. P. Lund-Hansen, Polyteknisk Forlag, 1967.
MATCH. Combined heat and moisture transfer in building constructions. Laboratoriet for varmeisolering, DTH, Report 214, 1990.
Fundering af enfamiliehuse og mindre bygninger. SBI-anvisning 127. 1980.
Radon i boliger. SBI, 1987.
Radon og nybyggeri. Byggestyrelsen 1988.

Kældre

Forebyggelse af svampeangreb i ældre etageejendomme. SBI-anvisning 131, 1982.
Fundamentsdetaljer. Kældre. BPS-publikation 53, 1987.
Fundamentsdetaljer. Generelt. BPS-publikation 51, 1987.
Renovering af etageejendomme – fundamenter og kældre. BPS-publikation 100, 1991.
Fukt i grundkonstruktioner. Byggnadsstyrelsen, T 136, 1991-10.

Krybekældre

Fugtforhold i varme krybekældre. BUR-rapport, 1989.
Varme kryberum – en energibesparende konstruktion? SBI-meddelelse 75, 1990.
Gulve og vægge i vådrum – i nye boliger og ved renovering. SBI-anvisning 169, 1991.
Varma grunder – framtidens grundlægning? Bygg och Teknik 3, 1992.
Kryprumsgrundläggning. Statens råd för byggnadsforskning R12:1975. 170 s.
An analytical model for crawl-space temperatures and heat flows. Report TVBH-3012, Lund, 1986.

Terrændæk

Fuktproblem vid betonggol. Rapport TVBM-3002. Lunds Tekniska Högskola, 1977.
Fundamentsdetaljer. Gulv på jord. BPS-publikation 52, 1987.
Utformning av fuktskydd vid golv på mark. Byggeforskningsrådet R90:1983.
Golv på mark utan fuktskador. BPA Byggproduktion AB – Svenska Riksbyggen, Handling nr. 32, 1981.
Heat loss to the ground from a building. Slab on the ground and cellar. Report TVBH-1004, Lund, 1988.

Ydervægge

Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Rapport TVBM-1004, Lunds Tekniska Högskola, 1980.
Invändig tillägsisolering. Rapport TVBH-1001, Lund, 1979.
Isolering og renovering af bevaringsværdige huse. Teknologisk Institut, 1986.
Ydervæggen som klimaskærm. SBI-anvisning 77, 1972.
Sommerkondens – en risiko ved indvendig efterisolering af ydermure? SBI-rapport 171, 1985.
Gulve og vægge i vådrum – i nye boliger og ved renovering. SBI-anvisning 169, 1991.
Skalmurskonstruktioners fukt- och temperaturbetingelser. Byggeforskningsrådet R43:1991.
Facadefuger. Udformning og materialer. SBI-anvisning 177, 1993.

Vinduer

Ældre vinduer – forbedring eller udskiftning? SBI-anvisning 142, 1984.
Laboratorieforsøg med fuger omkring trævinduer. SBI-rapport 176, 1986.
1-trinsfuger og 2-lagsfuger omkring trævinduer i telgstensmure. SBI-rapport 209, 1990.

Tage

- Tagdækning. Tagpapbranchens Oplysningsråd. Anvisning nr. 16, 1989, og nr. 18, 1990.
- Takteknik. Byggförlaget, Stockholm, 1981.
- Vejledning vedr. oplægning af tegltage. Murerfagets byggeblade nr. 33, 1991.
- Yttertakskonstruktion utan luftspalt mellom underlagstäckning och värmeisolering – en fältstudie. Träteknik Rapport 64. 1985.
- Fugt- og varmetekniske målinger i tage og ydervægge. SBI-forsøgshus. SBI-rapport 134, 1982.
- Fugtforhold i skråtage. Jydsk Teknologisk Institut, 1988.
- Tätskikt på yttertak. Pap och dukar av gummi och plast. Byggeforskningsrådet R57:1990.
- Skrå tak uten kaldt loft. NBI-rapport 85, 1982.
- Takskader. NBI-rapport 95, 1984.
- Feltundersøkelser av platetak. NBI-rapport 100, 1987.

BYG-ERFA-blade om fugt

Generelt om fugt

- Ægte hussvamp (920901).
- Svampe som afslører fugt (920108).
- Kondensvand i skorstene ved gasfyring (911107).
- Kondensdannelser i fryserumskonstruktioner (830317).
- Fejl ved måling af træfugtighed (930112).

Kældre

- Svampeangreb i kælderbjælkelag og trætrapper i ældre etageejendomme (830515).

Terrændæk

- Fugt i terrændæk med trægulv og tæt belægning (920602).
- Angreb af ægte hussvamp i terrændæk (920106).
- Udvendig korrosion på rør (910613).
- Utætte svejsefuger i PVC-beklædninger i vådrum (840715).
- Fugt i kraftigt isolerede terrændæk med trægulv (800224).

Vægge

- Fugtskader i pladebeklædte skeletvægge omkring vådrum (920219).
- Fugtskader i rum omkring flisebeklædte badeværelser (880116).
- Udførelse af fugtspærre mellem fundament og vægge i ældre murede bygninger (870315).
- Algevækst på murværk og belægninger (810816).

Vinduer

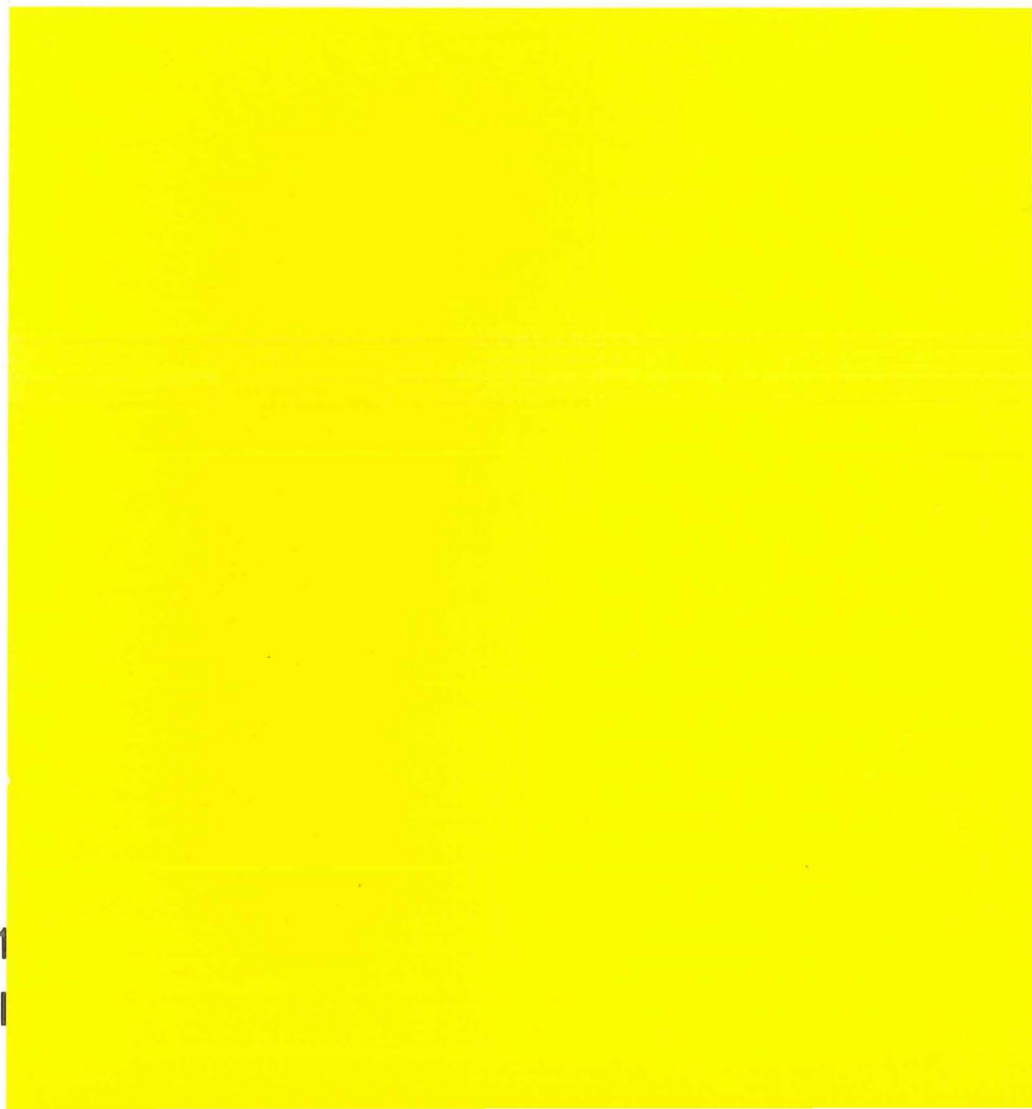
- Kondens på termoruder (870915).
- Dug mellem koblede vinduer og døre (851015).
- Nedbrydning af træ i vinduer med udadgående rammer (790621).
- Korkhat (901116).

Tage

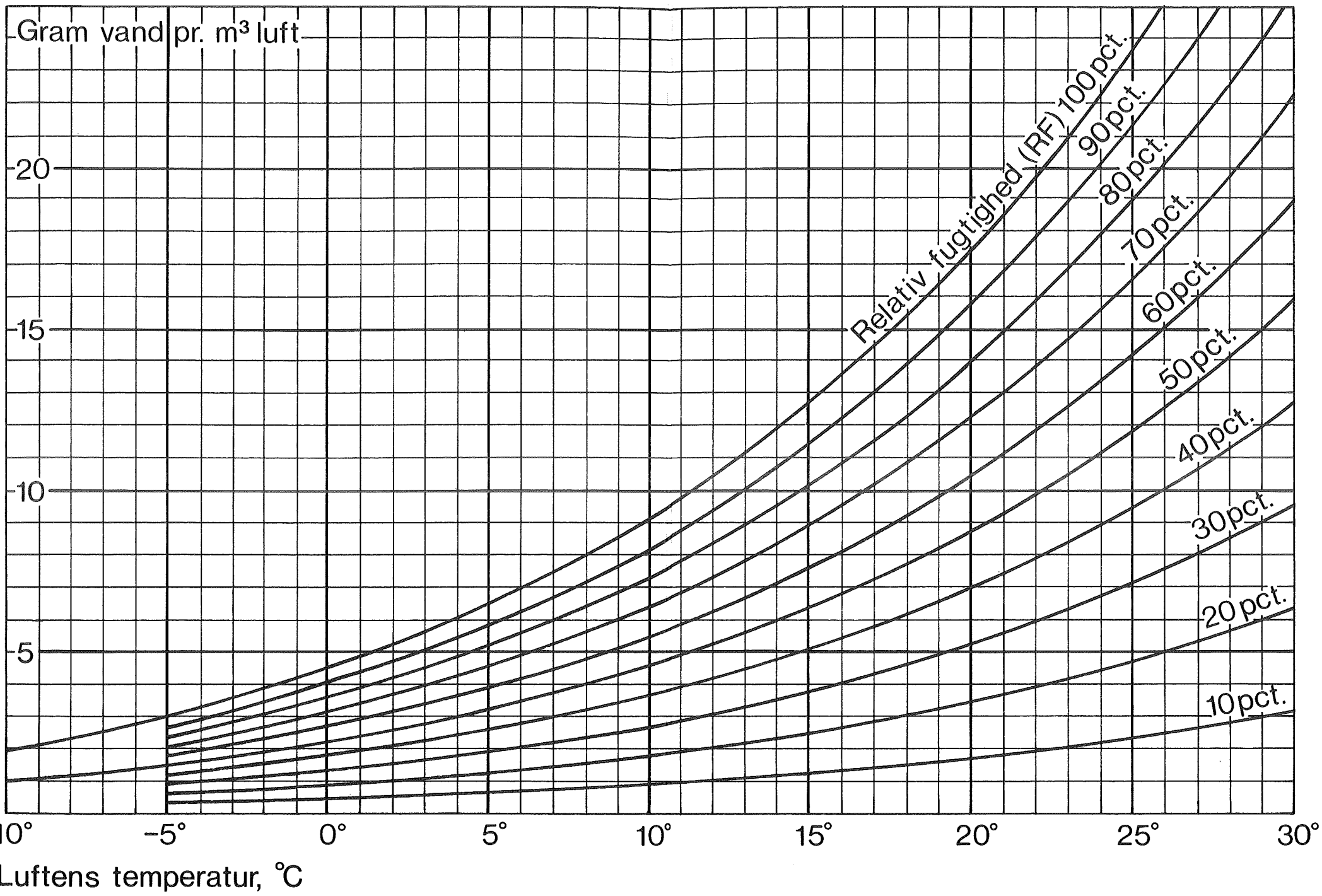
- Undertage af banevarer eller tynde plader. Generelt (910420).
- Kondensdannelse på tage af metal- og plastplader (901217).
- Kondensproblemer ved aftrækshætter i flade tage (900518).
- Ventilationshætter i flade tage af træ (891215).
- Sommerkondens i tage med tagpap på krydsfiner (890215).



Betegnelsen gram vand pr. m^3 luft er brugt i diagrammet af pædagogiske grunde. I virkeligheden er der afsat damptrykket i mmHg. Årsagen hertil er, at det er mætningsdamptrykket, man skal bruge for at finde dugpunkttemperaturen for luft af en given temperatur og relativ fugtighed. Men damptrykket stiger kun ganske lidt hurtigere med temperaturen end det absolutte fugtindhold i g/m^3 . Talværdierne er derfor næsten identiske inden for det viste temperaturområde. Men betegnelsen g/m^3 skal i virkeligheden forstås som gram vand pr. normalkubikmeter luft ved 16°C . Diagrammets g/m^3 er proportionalt med ix-diagrammets $x = \text{g vand pr. kg tør luft}$, idet $1 \text{ g}/\text{m}^3 = 0,84 \text{ g}/\text{kg}$. Desuden gælder, at $1 \text{ g}/\text{m}^3$ svarer til et partialtryk på 133 Pa.



-1
|



Gram vand pr. m³ luft

20

15

10

5

-10° -5° 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30°

Luftens temperatur, °C

Relativ fugtighed (RF) 100 pct.
90 pct.
80 pct.
70 pct.
60 pct.
50 pct.
40 pct.
30 pct.
20 pct.
10 pct.

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 bygningsreglementerne.