

SBI - 1001



UDK 69.022.3:699.8

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
KØBENHAVN 1972  
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG



# YDERVÆGGEN som klimaskærm

# Ydervæggen som klimaskærm

00673P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

46

- 9 NOV. 1994

# Ydervæggen som klimaskærm

*GEORG CHRISTENSEN, civilingeniør*

*NILS ERIK ANDERSEN, civilingeniør*



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SBI-ANVISNING 77  
KØBENHAVN 1972 · I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

## Indhold

Ydervæggens opgaver som klimaskærm . . . . .	6	Udvendigt vindtæt lag . . . . .	17
Andre opgaver . . . . .	6	Indvendigt tæt lag . . . . .	17
Vægge af ét materiale . . . . .	7	Varmeledningstallet $\lambda$ og $k$ -værdi . . . . .	18
Sammensatte vægge . . . . .	7	Varmeisolering . . . . .	18
Regntæthed, ét-trinsprincippet . . . . .	8	Varmeisoleringens placering . . . . .	19
Regntæthed, to-trinsprincippet . . . . .	8	Fejl ved varmeisoleringen . . . . .	19
Ét-trinstætning . . . . .	9	Betonelementvæg . . . . .	20
To-trinstætning . . . . .	9	Betonelementvæg, fuger . . . . .	20
Regnskærmen . . . . .	10	Tætningsprofiler i betonelementvægge . . . . .	21
Nødvendigt åbningsareal i regnskærm . . . . .	10	Metalydervægge . . . . .	21
Lodret fuge i regnskærm . . . . .	11	Træskeletvægge . . . . .	22
Inddækning af vandret fuge . . . . .	11	Træskelet-elementvægge . . . . .	22
Vanddamp . . . . .	12	Skalmuret træskeletvæg . . . . .	23
Kondensvand . . . . .	12	Kombinationsmur . . . . .	23
Kondens på kuldebro . . . . .	13	Teglhulmur . . . . .	24
Kondens i væg ved luftindtrængning . . . . .	13	Teglhulmur, detaljer . . . . .	24
Vanddampdiffusion . . . . .	14	Teglelement, dobbelt . . . . .	25
Kondensation som følge af diffusion . . . . .	14	Teglelement, massivt . . . . .	25
Dampspærre . . . . .	15	Koblede vinduer . . . . .	26
Vanddampgennemtrængelighed . . . . .	15	Termoruder . . . . .	26
Vindtæthed . . . . .	16	Fuger mellem karm og murværk . . . . .	27
To tætte lag . . . . .	16	Tillægsisolering . . . . .	27

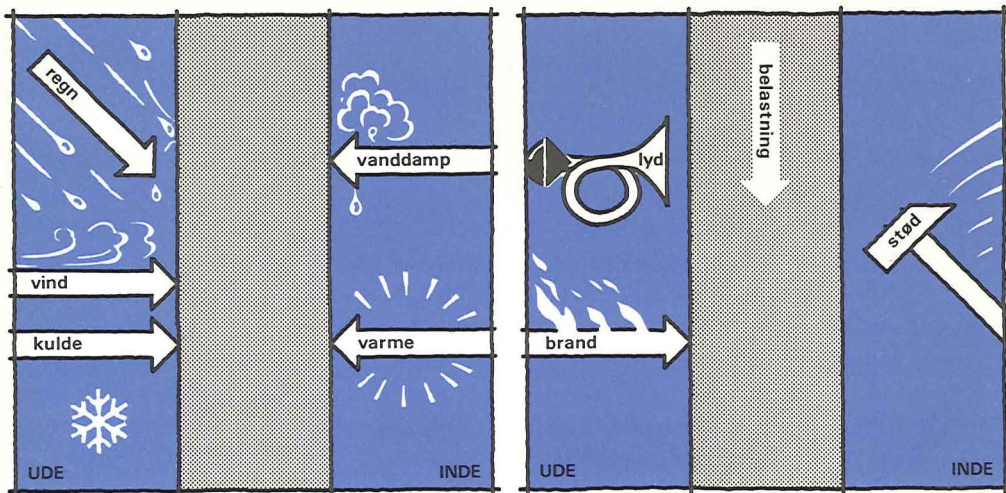
## Forord

Anvendelsen af nye materialer og konstruktioner til ydervægge medfører, at materialekendskab og byggeteknisk viden baseret alene på traditionelt byggeri ikke længere slår til. Det er nødvendigt at kende og forstå de fysiske love, som gælder for ydervægges klimabeskyttende funktion. Anvisningen har derfor til formål at forklare de bygningsfysiske principper, som er afgørende for, om en ydervæg vil virke tilfredsstillende som klimaskærm. Dernæst er der vist en række eksempler på, hvorledes disse principper kan benyttes ved ud-

formningen af konkrete ydervægskonstruktioner.

Det er vort håb, at bedre viden om disse forhold vil medføre en bedre anvendelse af både nye og traditionelle byggematerialer, ligesom vi også forventer, at en bedre viden på området vil være med til at formindske antallet af byggefejl i forbindelse med ydervægge.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
København, februar 1972  
*Philip Arctander*



### Ydervæggens opgaver som klimaskærm

En ydervæg skal som klimaskærm i første række yde beskyttelse mod vind, regn og kulde. Ydervæggen skal derfor være vindtæt, regntæt samt varmeisolerende.

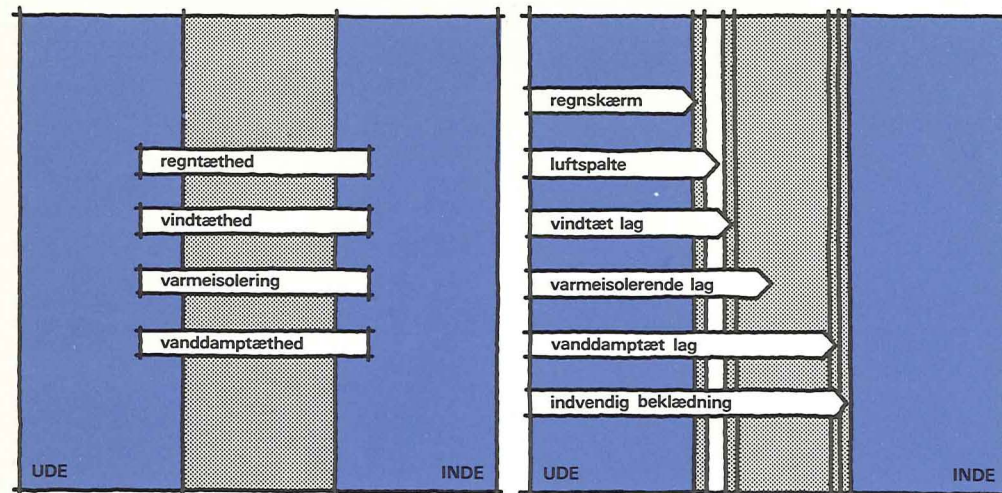
Herudover skal klimaskærmen være opbygget således, at der ikke i væggen eller på væggens indvendige overflade kan dannes kondensvand, som kan ødelægge væggen eller i væsentlig grad nedsætte væggens varmeisolerende evne. Væggen skal gennem hele sin levetid bevare de klimabeskyttende egenskaber. Ved valg af vægkonstruktion og materialer skal det tilstræbes, at vedligeholdelsesarbejde bliver unødvendigt eller i det mindste af ringe omfang.

I det følgende vil der især blive lagt vægt på en omtale af egenskaberne vindtæthed, regntæthed, varmeisoleringssevne og sikkerhed mod kondens.

### Andre opgaver

Udover at virke som klimaskærm vil ydervæggen ofte have en lang række andre opgaver. Den kan således indgå i husets bærende konstruktion, og den skal kunne optage vindkræfter og overføre disse til tværvægge, etageadskillelser eller fundamenter. Væggens brandtekniske egenskaber skal være i overensstemmelse med bygningsreglementets bestemmelser. Støj må ikke kunne forplante sig gennem væggen fra ét lejemål til et andet, ligesom udefra kommende støj skal dæmpes mest muligt.

Endelig kan der nævnes en række andre egenskaber af væsentlig interesse for brugerne såsom solafskærmende virkning, modstandsevne over for mekaniske påvirkninger, rengøringsegnethed, egnethed for vedligeholdelse, egnethed for ophængning af brugsgenstande og udseende.



### Vægge af ét materiale

Det er vanskeligt at finde et materiale, som på tilfredsstillende måde alene kan klare alle ydervæggens opgaver, herunder at skabe regntæthed, vindtæthed, varmeisolerering og sikkerhed imod kondens.

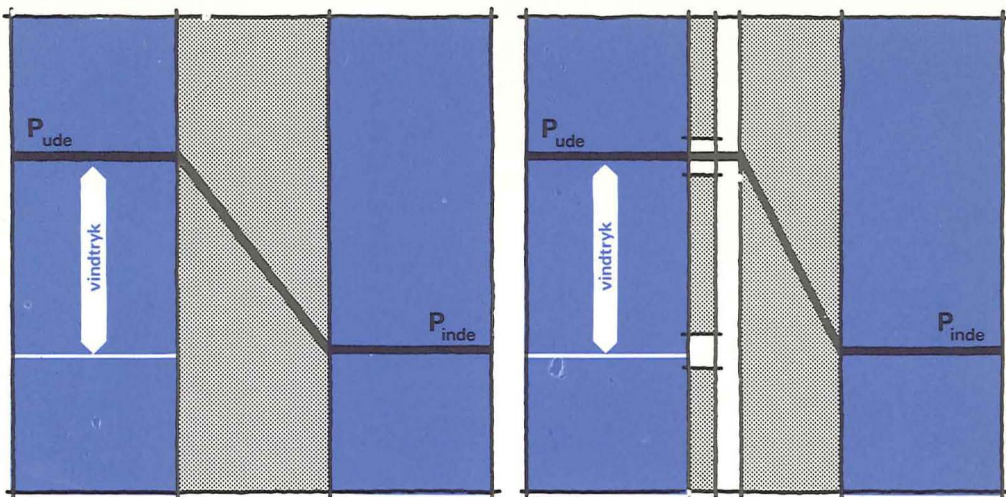
I de fleste tilfælde vil et materiale med gode egenskaber på ét område nødvendigvis have ringere egenskaber på andre områder. Eksempelvis vil vægge af tunge materialer i reglen have gode styrkeegenskaber, men til gengæld en ringe varmeisoleringssevne.

Det bliver af denne grund stadig mere almindeligt at opbygge ydervægge af flere lag. Hvert lag i væggen har da sin bestemte afgrænsede opgave, og der kan da til de forskellige lag vælges materialer, som på bedst mulig måde opfylder de forskellige opgaver.

### Sammensatte vægge

I sammensatte vægge kombineres de enkelte lag i væggen således, at væggen bliver regntæt, vindtæt, varmeisolerende samt kondenssikker. I det følgende gennemgås først de fysiske principper for klimaskærmens virkemåde, og bagefter vises der eksempler på den praktiske udformning af forskellige typer sammensatte vægge. Det vil fremgå af gennemgangen, at den bedste klimaskærm opnås ved anvendelse af en sammensat væg. En sådan væg vil som regel bestå af følgende lag regnet udefra:

1. Udvendig beklædning (regnskærm)
2. Luftspalte
3. Vindtæt lag
4. Varmeisoleringsmateriale
5. Vanddamp-tæt lag (dampspærre) som også skal være lufttæt
6. Indvendig beklædning.

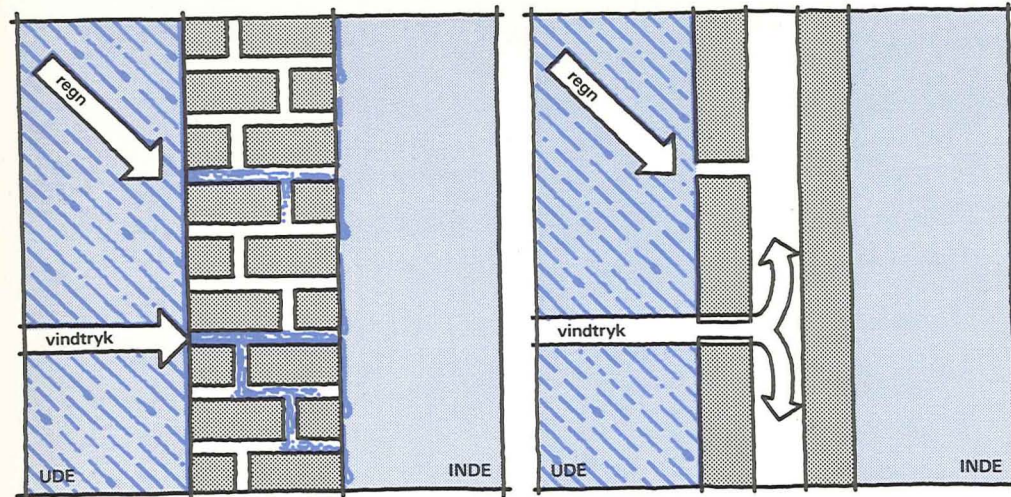


### Regntæthed, ét-trinsprincippet

Ved anvendelse af ét-trinsprincippet opnås regn- og vindtæthed med ét materialelag. På figuren er vist en væg bestående af ét lag, og vindtrykket vil fordeles jævnt igennem væggen. En vanddråbe på væggens udvendige overflade vil derfor være påvirket af en kraft fra vindtrykket, som vil søge at presse dråben igennem væggen. Dette kan kun undgås, hvis væggens udvendige del er helt vandtæt, dvs. uden revner eller sprækker. En så tæt overflade er særdeles vanskelig at opnå især i forbindelse med samlinger imellem vægelementer. På grund af temperatur- og fugtvariationer i materialerne er det svært at undgå, at der opstår revner i væggen, og vand vil da kunne trænge ind. Anvendelse af ét-trinstætningen må derfor i almindelighed frarådes.

### Regntæthed, to-trinsprincippet

Ved anvendelse af to-trinstætningens princip opdeles ydervæggen, herunder eventuelle fuger, i to lag med et hulrum imellem. Dette hulrum står i forbindelse med udeluften, således at der altid hersker samme lufttryk uden for væggen som i væggens eller fugens hulrum. Når det indvendige lag af væggen eller fugen er vindtæt, vil der ikke findes noget trykfald over væggens eller fugens ydre lag. En vanddråbe, som findes på væggens eller fugens udvendige overflade, vil derfor ikke påvirkes af nogen kraft, som kan drive den ind i væggen. Der må ikke i væggens bageste lufttætte lag være større utætheder, da vanddråber i så fald vil kunne føres med luftstrømmen over hulrummet og presses igennem den bageste væg som ved en ét-trinstætning.

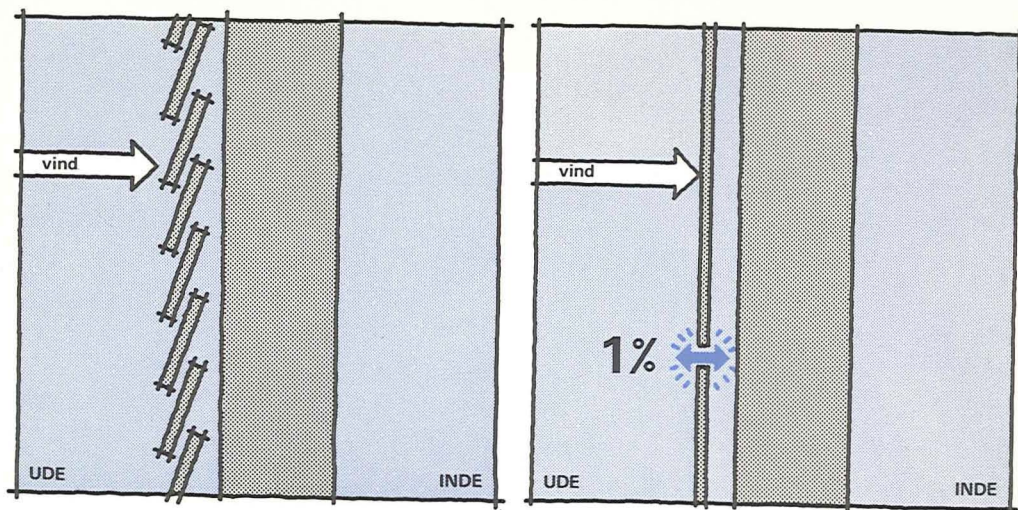


### Ét-trinstætning

Ét-trinstætningens princip anvendes i alle homogene vægge, f.eks. i massivt murværk, men også af og til i samlinger i elementvægge, nemlig i de tilfælde, hvor tætning af fuger finder sted med en elastisk fugemasse i fugens ydre del. I sådanne vægge vil selv de mindste sprækker og åbninger medføre, at regnvand kan presses ind i og igennem væggen. Ved denne anvendelse af elastiske fugemasser udsættes de for meget kraftigt nedbrydende påvirkninger såsom regn, sollys og frost. Herudover bliver fugematerialet samtidig udsat for kraftige deformationer på grund af uundgåelige bevægelser i ydervægselementerne. På grund af de meget kraftige påvirkninger vil de fleste fugematerialer før eller senere miste de elastiske egenskaber, og revner vil da åbne vejen for indtrængende vand.

### To-trinstætning

Anvendelse af to-trinstætning er den nemmeste og sikreste måde, hvormed regntæthed kan opnås. Udvendig i væggen eller fugen anbringes et vandafledende lag, den såkaldte regnskærm, bag hvilken der findes et luftmelletrum med forbindelse til det fri. Igennem samlingerne i regnskærmen vil der evt. kunne passere mindre vandmængder. Der må derfor skabes mulighed for at lede dette vand ud igen, således som det f.eks. sker ved at etablere inddækninger i vandrette fuger eller over døre og vinduer. Vindtæthed etableres i væggens bageste del, og som tætning imellem elementer er elastiske fugemasser her særdeles velegnede. Ved denne anvendelse vil fugematerialet befinde sig i et ret konstant klima og være beskyttet mod ekstreme påvirkninger fra frost, sol og bevægelser imellem bygningsdele.

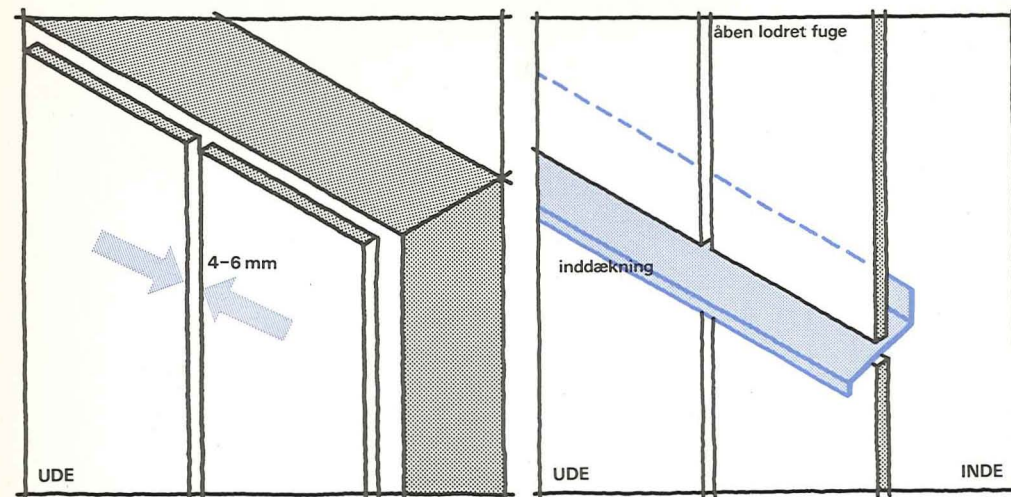


### Regnskærmen

Det er regnskærmens opgave at afvise størstedelen af den slagregn, som rammer væggen. Regnskærmen skal dog være så utæt, at lufttrykket foran væggen let kan forplante sig til luftmelle rummet bag regnskærmen. For at forhindre, at vand, der løber ned ad væggen, ledes indad, anvendes ofte en regnskærm med taglagte samlinger, f.eks. brædder på klink. Regnskærmen udføres af vejrbestandige materialer, da den som det yderste lag i væggen er kraftigt udsat for regn, sol og frost. Regnskærmen skal være forsvarligt fastgjort, således at den ikke kan rives løs eller give anledning til støj ved vindpåvirkning. Tilslutningsdetaljer ved døre og vinduer skal udføres således, at regnvand, der løber ned ad facaden eller af vinden føres på langs ad denne, forhindres i at løbe ind i væggen.

### Nødvendigt åbningsareal i regnskærm

De trykvariationer, som fremkaldes af vindstød, udgør højst 1% af atmosfæretrykket. Det er derfor meget små luftmængder, som skal strømme ind og ud gennem åbningerne i regnskærmen for at skabe trykudligning. Det nødvendige åbningsareal bliver tilsvarende ringe og behøver ikke at overstige 100 cm<sup>2</sup> pr. vandret meter væg pr. etage. Luftlaget bag væggen må ikke være mindre end ca. 1 cm, og eventuelle gennemstrømningsåbninger må ikke have nogen dimension mindre end 1 cm. Hvis gennemstrømningsåbningerne får endnu mindre dimensioner, vil de hurtigt blive lukket af snavs. De her beskrevne udluftningsforhold for luftlaget bag regnskærmen er også tilstrækkelige til at sikre, at vanddamp, som trænger ud gennem væggen indvendige del, kan ventileres bort.



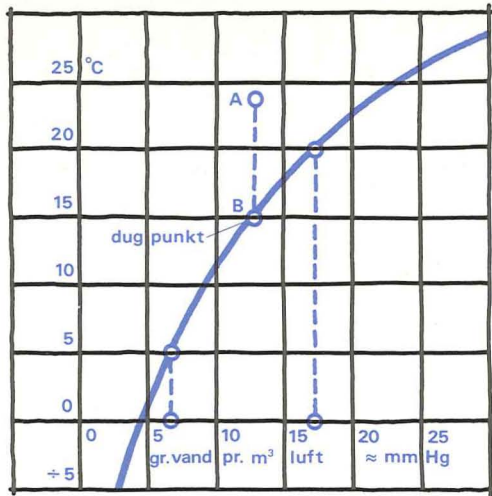
### Lodret fuge i regnskærm

I en regnskærm, der består af en plan pladebeklædning, kan der i visse tilfælde anvendes åbne lodrette fuger, der har en bredde på 4-6 mm. Denne fugebredde sikrer, at en vandfilm, som af vinden drives hen ad vægoverfladen i vandret retning, ikke kan danne en sammenhængende vandfilm over åbningen og dermed forhindre, at trykudligning finder sted. I de fleste tilfælde er det dog nødvendigt at sikre fugen for at forhindre, at større mængder slagregn trænger direkte ind igennem fugen.

Dette kan bl.a. gøres ved at dække fugen med en liste. Anvendelse af dette princip for afdækning af lodrette fuger kendes fra den såkaldte 1 på 2 beklædning med lodrette brædder. Som regnskærm i fuger i elementvægge kan anvendes forskellige neoprenprofiler, hvis udformning omtales s. 21.

### Inddækning af vandret fuge

En plan pladebeklædning kan anvendes som regnskærm, hvis der i de vandrette fuger udføres inddækning. I særlige tilfælde kan også de vandrette fuger udføres åbne, med en bredde på 4-6 mm. Dette vil afhænge af det stedlige klima, muligheden for at dræne vand ud fra bagsiden, bagvægens fugt- og frostbestandighed samt husets højde. Inddækninger kan udføres af zink eller andet velegnet materiale, og opkanten indvendig skal være mindst 5 cm høj. Hvor inddækningen i vandret retning støder op mod dør- eller vinduespartier, bør den afsluttes med en kant, som sikrer, at vand ikke ledes ind til vindues- eller dørpartier. Det er vanskeligt at undgå snavsstriber på facaden, hvorfor der bør anvendes en overfladekarakter, som kan skjule snavs.

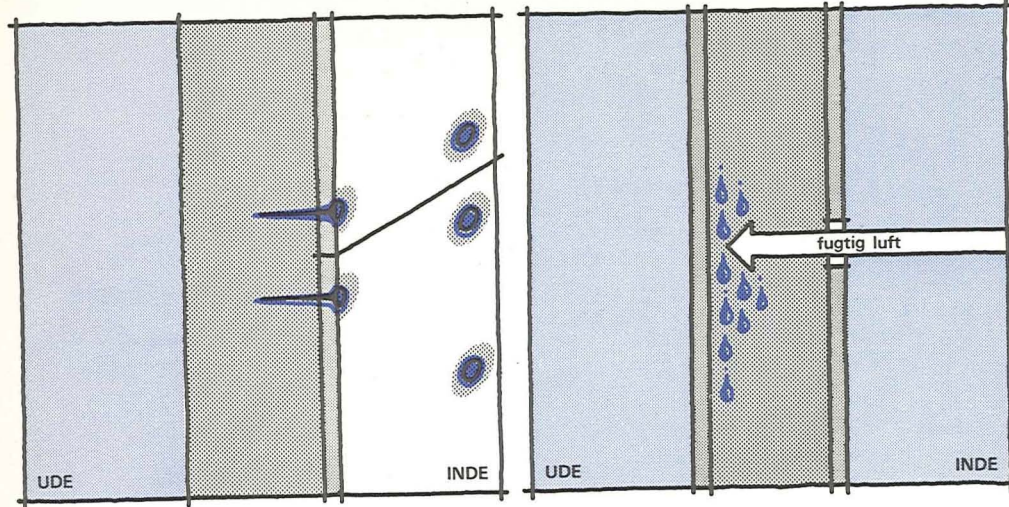


### Vanddamp

Al atmosfærisk luft indeholder vanddamp. Ved en bestemt temperatur kan luften dog kun indeholde en vis mængde vanddamp. Når luften indeholder den størst mulige vanddampmængde, siges luften at være mættet. Hvis mættet luft opvarmes, vil den kunne indeholde mere vanddamp, før den igen er mættet. Figuren viser den såkaldte mætningskurve, som angiver sammenhængen imellem lufttemperaturen og den største vanddampmængde, som luften kan indeholde. Ved afkøling af ikke mættet luft, vil frit vand udskilles ved den temperatur, der svarer til, at luften er mættet. Dette er vist på figuren som AB, hvor temperaturen ved B kaldes for luftens dugpunkt. Eksempelvis ses, at hvis én m<sup>3</sup> luft, der indeholder 17 g vanddamp ved 20°, afkøles til 5°, vil der udskilles 17-7=10 g kondensvand.

### Kondensvand

I alle huse, hvor der foregår menneskelige aktiviteter, produceres der fugtighed, der optages som vanddamp i luften. Hvis rumluften med dette tilskud af vanddamp kommer i berøring med materialer, hvis temperatur er lavere end luftens dugpunkt, vil der udskilles kondensvand. Det mest velkendte eksempel herpå er dug, som ses på vinduesruder om vinteren. Overfladekondensation kan kun undgås, hvis alle overflader i kontakt med varm og fugtig rumluft har en temperatur, som er højere end luftens dugpunkt. For at undgå kondens inde i en vægkonstruktion må det forhindres, at fugtig rumluft kan trænge ind i vægdele, der har lave temperaturer under vinterforhold. Bemærk at luftens dugpunkt er uafhængigt af luftens temperatur; det afhænger kun af luftens absolutte indhold af vanddamp.



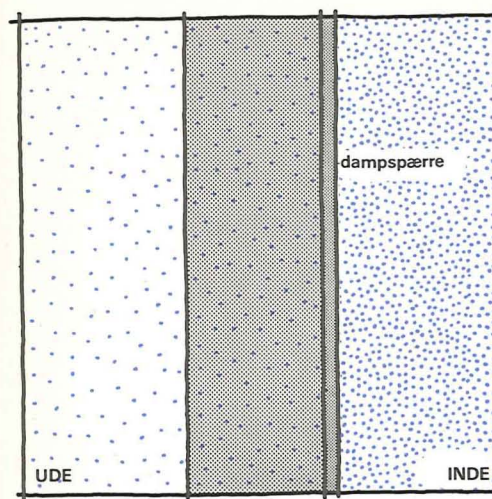
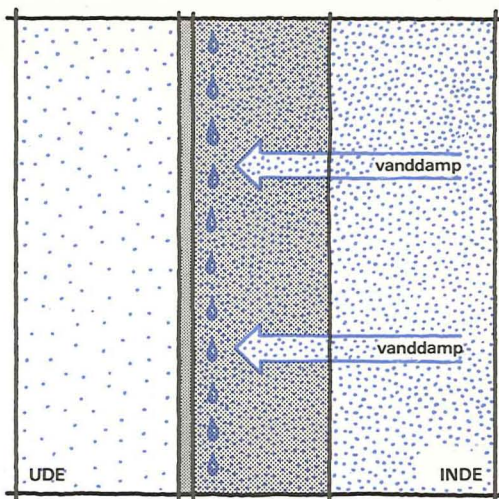
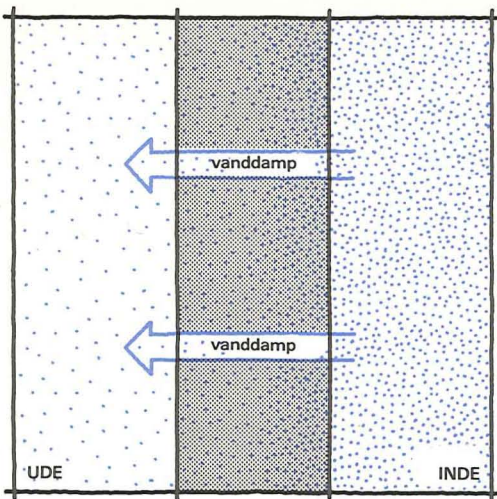
### Kondens på kuldebro

Hvis der i væggen findes materialer, der har stor varmeledningsevne, og som går ubrudt igennem fra væggen ydre del til væggen inderside, siges der at være en kuldebro i væggen. En kuldebro vil medføre, at væggen indvendige overfladetemperatur under vinterforhold ud for kuldebroen vil blive væsentlig lavere end væggen gennemsnitlige overfladetemperatur. Hvis overfladetemperaturen bliver lavere end svarende til luftens dugpunktstemperatur, vil der udskilles kondensvand, som vil kunne ødelægge overfladebehandlinger og skabe misfarvning. På figuren er vist, hvorledes søm, som fastholder indvendigt anbragte isoleringsplader til en mur, vil virke som kuldebroer og dermed på grund af lavere overfladetemperatur ud for sømmet give anledning til støvfigurer.

### Kondens i væg ved luftindtrængning

Hvis den varme og fugtige rumluft får lejlighed til at strømme igennem åbninger i væggen indvendige side og ud i de koldere dele af væggen, vil denne luft møde materialer, som under vinterforhold har en temperatur, der er lavere end luftens dugpunkt. Resultatet bliver, at der udskilles kondensvand inde i væggen. Det er små trykforskelle, f.eks. fra vindtryk eller den termiske opdrift i højere huse, som skal til for at drive rumluften ud i væggen, hvorfor det er vigtigt på væggen varme side at have et lag, som er lufttæt. Især vil kondensation inde i vægge, der indeholder træ, kunne give anledning til meget alvorlige skader, da disse i reglen først opdages på så sent et tidspunkt, at væggen allerede er helt ødelagt af råd og svamp.





	g/m <sup>2</sup> h mm Hg
10 mm stillestående luft	10
10 - mineraluld	8
1 - uimprægneret pap	5
10 - tegl, kalksandsten	1
10 - letbeton	1
10 - asbestcement	1
9 - gipsplade	0,5
10 - celluloseasbestcement	0,3
10 - polystyrenskum	0,2
10 - træfiberplade	0,2
10 - spånplade	0,2
10 - træ	0,1
10 - beton	0,1
1 - asfaltpap	0,1-0,002
0,04 mm polyethylenfolie	0,01
0,1 - -	0,004
specialmembraner	0,0001
metal, glas	0

## Vanddampdiffusion

Luftens vanddamp vil kunne trænge igennem de fleste byggematerialer med undtagelse af metal og glas. Det større indhold af vanddamp inde i huset medfører, at vanddamp vil søge gennem ydervæggen og til luften udenfor, hvor vanddampindholdet er mindre. Vanddampen siges at diffundere gennem materialerne i væggen. Den måde, hvorpå vanddamp bevæger sig ved diffusion, er således forskellig fra, hvad der omtales s. 13, hvor der var tale om, at hele luftmængden strømmede. Ved diffusion står luften stille i materialets porer, og kun vanddampmolekylerne trænger igennem væggen. Såfremt vanddampene når ud til det fri, er det en uskadelig proces. Kun hvis vanddampen bremses og kondenserer i væggens kolde del, vil der kunne blive tale om fugtophobning.

## Kondensation som følge af diffusion

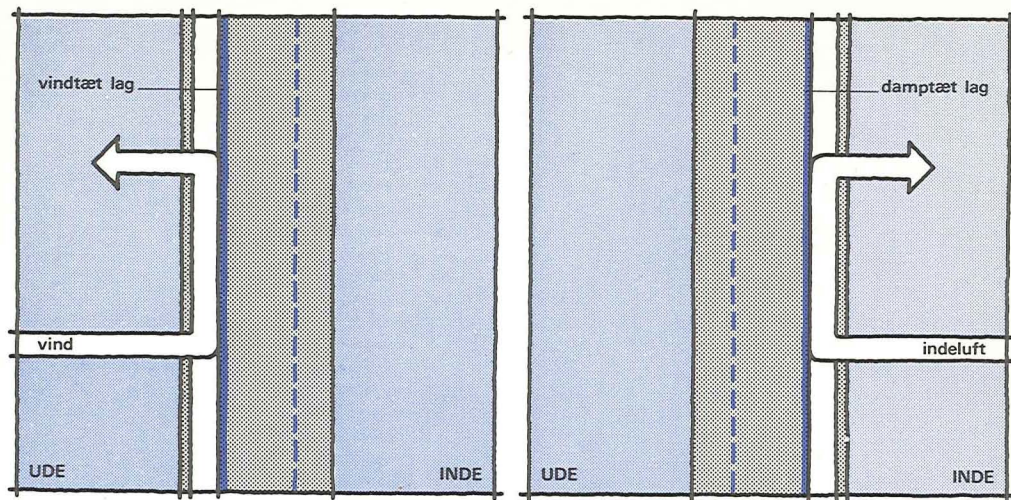
Hvis der i væggen ydre del findes lag, som er tættere over for vanddampdiffusion end de indvendige lag, vil der kunne blive et så stort vanddampindhold i den koldere del af væggen, at vanddampene kondenserer. Visse materialer kan tåle at opsuge en del kondensfugt, men i langt de fleste sammenføjede vægge vil kondensation have en ødelæggende virkning. Først og fremmest vil i de fleste tilfælde varmeisoleringsmaterialet blive vådt og dermed miste sin isoleringsevne. Dernæst vil der i konstruktioner, hvor der indgår træ, kunne nås et så stort fugtindhold i træet, at rådskader er uundgåelige. Endelig vil der i metalvægge kunne optræde korrosion. Der må derfor på væggen varme side findes et lag, som forhindrer, at vanddamp diffunderer ind i væggen.

## Dampspærre

For at hindre diffusion af vanddamp ind i væggen anbringes der normalt i sammensatte vægge en dampspærre på væggen varme side. Dampspærren anbringes bedst imellem varmeisoleringen og indvendig vægbeklædning. Dampspærren skal have en stor modstand mod vanddampdiffusion i forhold til væggen ydre lag. Der må ikke på væggen yderside anbringes en glas- eller metalplade, som vil kunne forhindre, at de mindre mængder vanddamp, som går gennem dampspærren, afgives til yderluften. Hvis helt tætte materialer anbringes på ydersiden af væggen, vil almindeligt anvendte dampspærre ikke kunne forhindre kondensation på bagsiden af det tætte lag som vist s. 14. På s. 10 er omtalt, hvorledes dette problem kan løses ved at etablere udluftning bag den tætte yderbeklædning.

## Vanddampgennemtrængelighed

I lagdelte ydervægge bør den indvendige del af væggen normalt yde en modstand imod vanddampdiffusion, der er mindst 10 gange så stor som modstanden i den udvendige del. I tabellen er angivet vanddampgennemtrængeligheden for en række byggematerialer. Modstanden imod vanddamptransport bliver større nedefter i tabellen. De anførte tal er gennemsnitsværdier, men nøjagtige tal er normalt unødvendige, som følgende eksempel viser: Er der udvendig anvendt et vindtæt lag af 5 mm celluloseasbestcementplade ( $0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ g/m}^2\text{h mm Hg}$ ), kan der ikke benyttes en gipsplade indvendig, uden at denne suppleres med f.eks. en polyethylenfolie ( $0,01 \text{ g/m}^2\text{h mm Hg} < \frac{1}{10} \cdot 0,6$ ). Det er en forudsætning, at dampspærren er ubrudt og monteret med klemte samlinger.

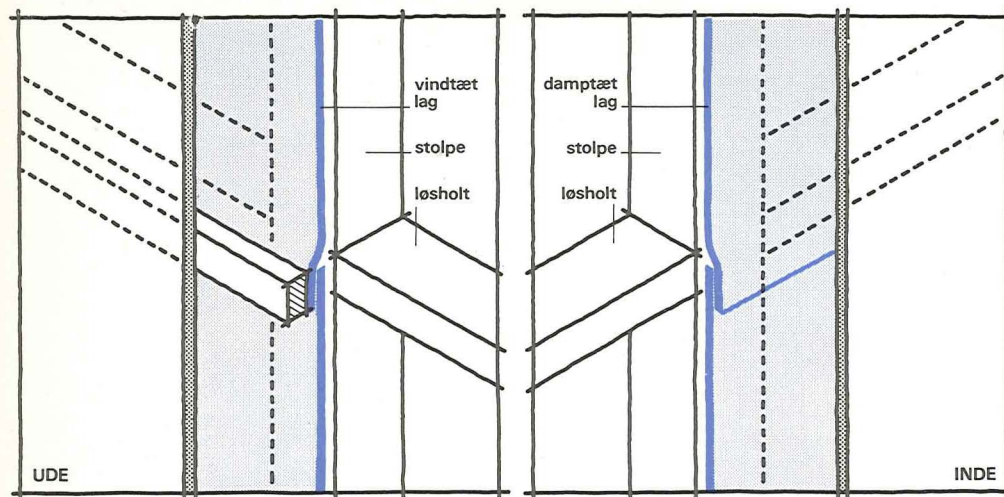


## Vindtæthed

Der skal i væggen findes et vindtæt lag, som forhindrer vinden i at blæse igennem væggen. Umiddelbart kunne det forekomme at være ligegyldigt, hvor i væggen dette lag placeres. I forbindelsen med omtalen af to-trinstætningen fremgik det dog, at vindtæthed i hvert fald ikke må opnås i det yderste lag af væggen, hvis væggen også skal være regntæt. I sådanne vægge anbringes det vindtætte lag på varmeisoleringsens kolde side. I homogene ydervægge (ét-trinsprincippet) findes der ikke noget særskilt lag, som yder vindtæthed. I fuger bør vindtætheden ligge i fugens bageste del, medens regnskærmen ligger yderst i fugen (to-trinstætning). En ydervæg bør være så tæt, at et luftovertryk på væggen yderside på 70 mm H<sub>2</sub>O ikke medfører en større luftlækage end 2 m<sup>3</sup>/h pr. m<sup>2</sup> væg.

## To tætte lag

I ydervægge med porøse varmeisoleringsmaterialer skal tætte lag anbringes på begge sider af varmeisoleringen for at forhindre, at der trænger luft ind i isoleringsmaterialet. Det er nødvendigt at forhindre indtrængning både af kold luft udefra og fugtig varm luft indefra. Hvis kold luft udefra trænger ind i isoleringen, vil isoleringsevnen nedsættes mærkbart. Hvis varm og fugtig rumluft trænger ud i det koldere isoleringsmateriale, vil der udskilles kondensvand, som kan nedsætte isoleringsevnen, og i vægkonstruktioner af træ vil kondensvandet opsuges af træet, som herefter kan nedbrydes af råd og svamp. Som indvendigt tæt lag anvendes i reglen dampspærren, omtalt s. 15, og som udvendigt tæt lag anvendes det tidligere omtalte vindtætte lag.



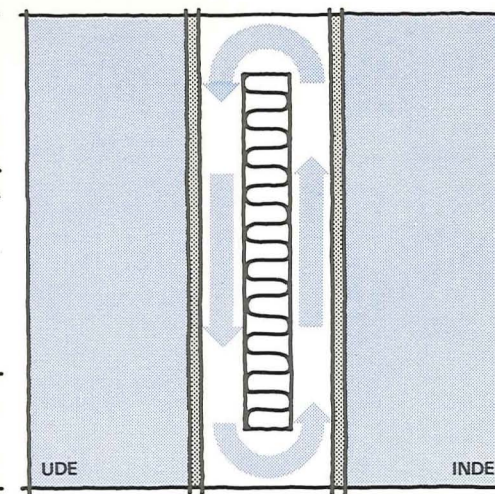
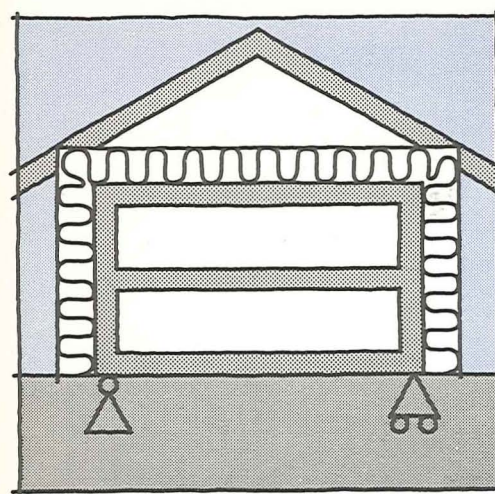
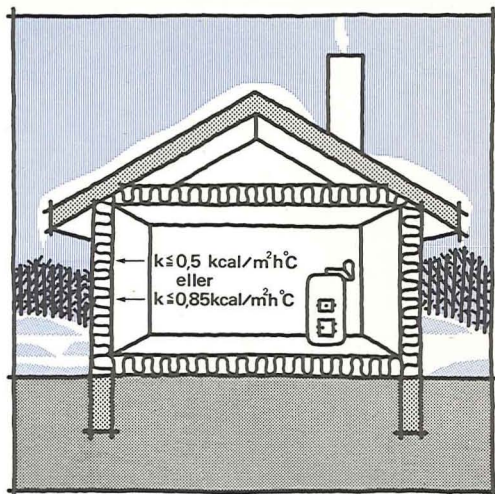
## Udvendigt vindtæt lag

Det vindtætte lag kan udføres af et plademateriale, som sømmes eller på anden måde fastholdes langs alle kanter, således at der opnås vindtæthed. Det vindtætte lag kan også udføres af pap eller folie, som fastklemmes under lister ved alle samlinger. Vindtæthed kan ikke opnås med løse overlæg. Det udvendige vindtætte lag skal være så diffusionsåbent, at vanddamp, som kommer fra væggen varme side, kan passere. Hvis væggen opbygges på stedet, bør der anvendes et robust vindtæt lag, som ikke flænges ved overlaster på byggepladsen. Ved anvendelse af fabriksfremstillede vægelementer, hvor det vindtætte lag ligger beskyttet inde i væggen, er dette forhold uden betydning. Som diffusionsåbne lag regnes alle materialer, som har en PAM-værdi mindre end 10 m<sup>2</sup>h mm Hg/g.

## Indvendigt tæt lag

Det tætte lag på isoleringens varme side er det samme som det vanddamptætte lag, som er omtalt s. 15. Det består i reglen af en plastfolie, som klemmes i alle overlæg af en indvendig beklædningsplade. Det er vigtigt, at laget har god forbindelse til det tilsvarende lag i tagkonstruktionen. Hvor ydervæggen passerer etageadskillelser, bør det også sikres, at det indvendige tætte lag kan passere ubrudt forbi etageadskillelsen. Hvor det indvendige tætte lag kan lide overlaster på byggepladsen, bør det udføres af et materiale, som er mindst lige så robust som en 0,1 mm plastfolie. Hvis en dampspærre har blank aluminiumfolie på den ene side, kan dennes lave strålingsevne udnyttes som et tilskud til varmeisoleringen, forudsat at den blanke side vender mod et luftlag.

	$\lambda$ kcal/mh °C	tykkelse for k=0,5
Mineraluld, type A	0,033	6 cm
Polystyrenplastskum	0,035	6 cm
Mineraluld, type B	0,038	7 cm
Skumglas	0,05	9 cm
Carbamidplastskum i hulmur	0,06	11 cm
Brændte klinker	0,10	18 cm
Træ	0,12	22 cm
Letbetonblokmur	0,2	36 cm
Teglmurværk	0,5	90 cm
Luftlag, 10 cm	0,5	-
Beton	1,5	270 cm
Stål	50	90 m
Aluminium	150	270 m



## Varmeledningstallet $\lambda$ og k-værdi

Et materiales varmeledningsevne angives ved den såkaldte  $\lambda$ -værdi. Varmeisoleringsmaterialer har i reglen  $\lambda$ -værdier i området 0,02-0,1 kcal/m h °C. En vægs varmeisoleringssevne angives ved varmetransmissionstallet k, der angives i kcal/m<sup>2</sup> h °C. En lav k-værdi angiver en god isoleringssevne hos væggen. En lagdelt vægs k-værdi kan beregnes af

$$\frac{1}{k} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + m_i + m_u,$$

hvor d = det enkelte lags tykkelse i m,

$\lambda$  = det enkelte lags varmeledningstal i kcal/m h °C,

$m_i$  = indvendig overgangsmodstand m<sup>2</sup>h °C/kcal,

$m_u$  = udvendig overgangsmodstand m<sup>2</sup>h °C/kcal.

For vægge vil  $m_i + m_u$  altid være = 0,15 + 0,05 = 0,20 m<sup>2</sup>h °C/kcal.

## Varmeisolering

Vægge skal varmeisolere for at reducere varmetabet og dermed opvarmningsudgifterne samt for under vinterforhold at opnå en god termisk komfort indendøre. En passende høj indvendig vægoverfladetemperatur vil forhindre ubehagelig kuldestråling samt dannelse af kondensvand på væggenes indvendige overflade.

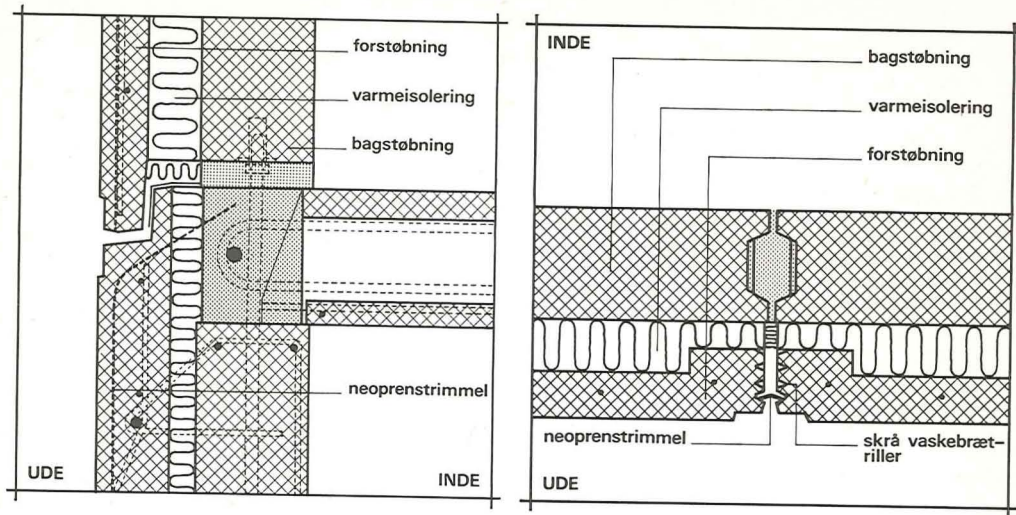
I bygningsreglementet kræves, at lette vægge skal have en varmeisoleringssevne svarende til  $k \leq 0,5$  kcal/m<sup>2</sup>h °C, medens vægge, der vejer mere end 100 kg/m<sup>2</sup>, skal have en varmeisoleringssevne svarende til  $k \leq 0,85$  kcal/m<sup>2</sup>h °C. Denne forskel i krav til k-værdien er begrundet med, at tunge vægge bedre end lette formår at udjævne svingninger i det indendørs klima forårsaget af vekslende udendørs temperaturforhold.

## Varmeisoleringens placering

Varmeisoleringslaget bør anbringes uden på bygningens bærende konstruktion. Herved opnås, at den bærende konstruktion ikke udsættes for store temperatursvingninger, som kunne give anledning til uønskede ekstraspændinger i konstruktionen, ligesom kuldebroer undgås. I tunge bygninger, f.eks. af jernbeton, er det endvidere en fordel, at materialerne med stor varmekapacitet findes nær de indvendige overflader, da varmereguleringen herved lettes. Endelig vil de fleste varmeisoleringsmaterialer være så åbne over for vanddampdiffusion, at de ville kræve anvendelse af en effektiv dampspærre for at undgå kondensation i væggen, hvis de blev anbragt på væggenes inderside. I lette konstruktioner vil varmeisoleringens placering i reglen ikke give anledning til overvejelser som nævnt for de tunge konstruktioner.

## Fejl ved varmeisoleringen

Varmeisoleringsmaterialet skal udgøre et sammenhængende lag i væggen, da der ellers under vinterforhold vil optræde defekter, som er karakteristiske for kuldebroer. Dette betyder, at der ikke må være huller i isoleringslaget. Hvis der i væggen findes udfyldte områder, vil der på væggenes indvendige side kunne dannes mørke pletter, støvfigurer, og i værste tilfælde vil der kunne dannes kondensvand. Det er også en fejl, hvis isoleringen ikke slutter tæt til foroven og forneden, da der så inde i væggen kan optræde konvektionsstrømninger, som kan føre kold luft fra den kolde side til den varme side, se figuren. Herved vil den indvendige overflade kunne afkøles så meget, at der vil kunne opstå støvfigurer på samme måde, som hvis isoleringsmaterialet var udeladt.

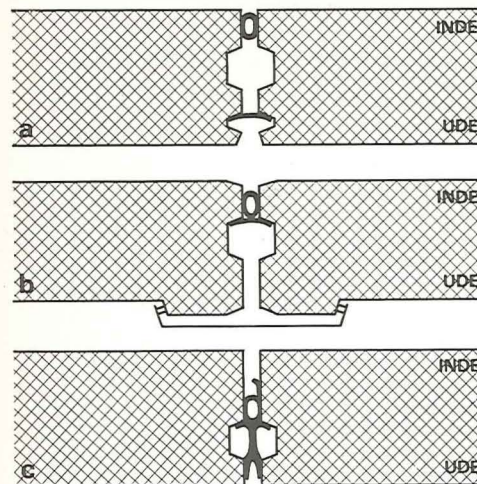


### Betonelementvæg

Det viste element består af 2 betonskiver adskilt af et 5 cm tykt lag varmeisoleringsmateriale. De to vægdele holdes sammen med rustfaste stålbøjler, som kun udgør beskedne kuldebroer imellem de to vægdele. Beton i den anvendte kvalitet er vandtæt og vindtæt, hvorfor det især bliver fugerne imellem elementerne, som kræver opmærksomhed. Teoretisk set vil der under vinterforhold kunne optræde kondens på skillefladen imellem den udvendige betonskive og varmeisoleringsmaterialet. Dette forhold har imidlertid vist sig at være uden betydning, da de mindre kondensmængder, som dannes om vinteren, ikke kan gøre skade. Dette skyldes, at fugten vil kunne opsuges i betonen og derefter ved kapillarsugning vil kunne transporteres ud til overfladen, hvorfra den fordamper.

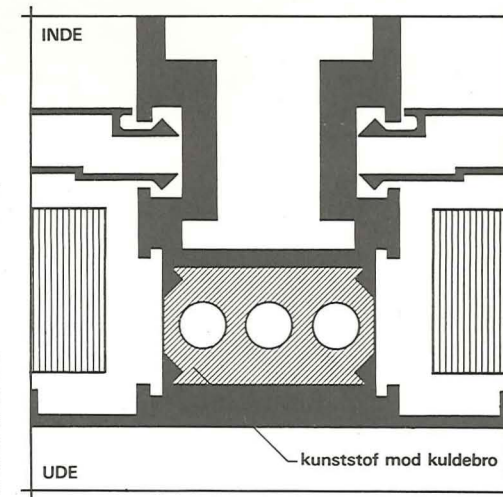
### Betonelementvæg, fuger

Fugerne imellem betonelementerne er udført med to-trinstætning. Regnafvisning opnås i de vandrette fuger ved en simpel overlappning på mindst 50 mm. I de lodrette fuger er der i fugens yderste del anbragt et neoprenprofil, som er støbt fast foroven i elementet og ellers passer løst i spor i vægelementernes sider. Lufttæthed er opnået ved udstøbning med en cementmørtel i fugens bageste del. Det vil ved slagregnspåvirkning ikke kunne undgås, at der trænger mindre mængder vand forbi den løse neoprenstrimmel. Derfor findes der i elementkanterne nogle skrå vaskebrætriller, som leder eventuelt indtrængende vand udad igen. I fugens bageste del er der anbragt et varmeisoleringsmateriale, således at fugen ikke virker som kuldebro.



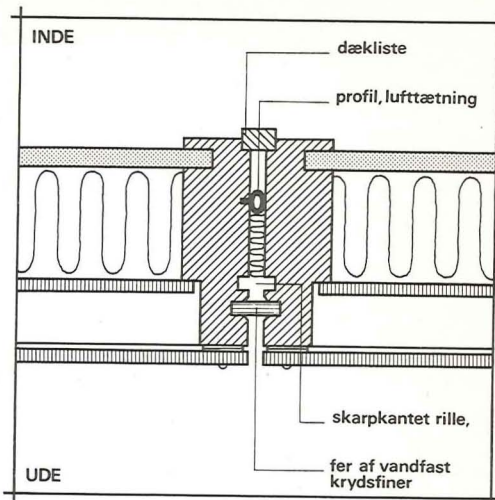
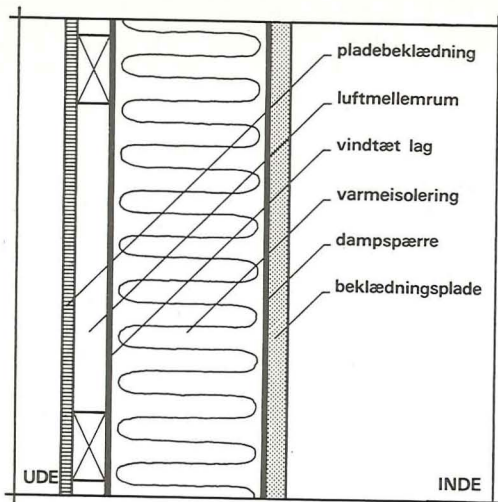
### Tætningsprofiler i betonelementvægge

Tætning med ét-trinstætning med fugematerialer i fugens udvendige del kan alene på grund af de ofte ugunstige vejrforhold være en vanskelig proces. To-trinsfuger kan i reglen udføres uafhængigt af vejret. Dette er et yderligere argument for anvendelse af denne fugetype. På figuren viser a en lodret fuger, hvor regnskærm og vindtætning er udført med to adskilte neoprenprofiler, medens b viser en fuger dækket af en skinne, der virker som regnskærm. Vindtætningen er også her udført med en neoprenslange. I eksempel c vises, hvorledes regnskærm og vindtætning kan samles i ét profil. Ved valg af profiltipe må der tages hensyn til den nøjagtighed, hvormed elementerne kan monteres, da de fleste typer fugeprofiler kun er anvendelige ved en bestemt fugebredde med en beskedne tolerance.



### Metaldervægge

Ved konstruktion af denne vægtype er det et væsentligt problem at undgå kuldebroer. På figuren ovenfor er vist et eksempel på, hvorledes væggenes ydre del er adskilt fra den indre ved hjælp af kunststof, som har en forholdsvis ringe varmeledningsevne. De mest anvendte materialer til metaldervægge er overfladebehandlet stål, aluminium og kobber. Væggen udformes efter to-trinstætningens princip, hvor vindtæthed i fuger opnås med et fugemateriale ved væggenes inderside. Korrosionsproblemer kan undgås, hvis der anvendes ensartede metaller i konstruktionen, herunder også til fastgørelsesbeslag. Hvor ensartede materialer ikke kan anvendes, skal forskellige metaller adskilles med et materiale, som ikke er elektrisk ledende.

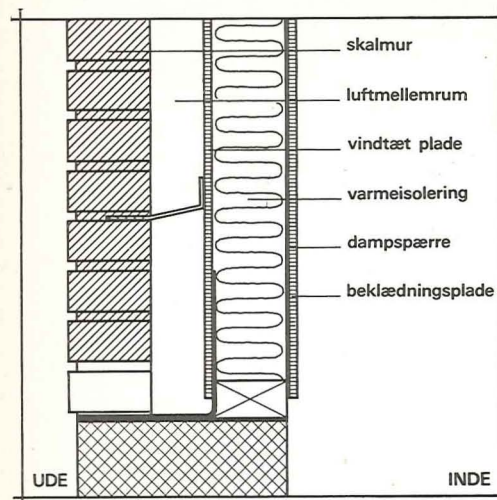


### Træskeletvægge

Den viste træskeletvæg er isoleret med 10 cm mineraluld. Indvendig anbringes en beklædningsplade af gips, en spånplade, en træfiberplade eller en anden velegnet beklædningsplade. Under beklædningspladen anbringes en dampspærre, f.eks. af 0,10 mm plastfolie. På væggenes kolde side afdækkes varmeisoleringsmaterialet med et vindtæt men diffusionsåbent materiale i form af en diffusionsåben pap eller plade. Væggen kan hermed anses for kondenssikker. Udvendig kan der f.eks. anbringes en lodret eller vandret bræddebeklædning, eller der kan anvendes en beklædningsplade. Væggen skal skabe tæthed imod regn og vind efter to-trinstætningens princip, idet den ydre beklædning skal virke som regnskærm. Beklædningspladen skal derfor være lægtet ud fra skelettet, således at der dannes et hulrum med forbindelse til det fri.

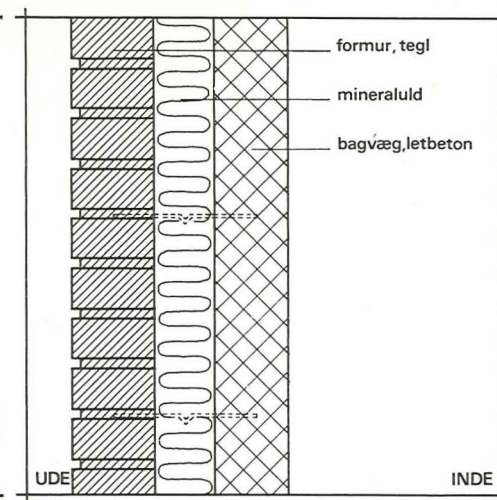
### Træskelet-elementvægge

Træskelet-elementvægge opbygges i princippet som almindelige træskeletvægge, og det bliver især fugerne, som kræver opmærksomhed, hvad angår tætning mod regn og vind. Regnafvisning i fugens ydre del er i det viste eksempel opnået med en fer af vandfast krydsfiner, og indvendig er der opnået lufttæthed med en neoprenslange. Elastiske fugemasser kan også anvendes til tætning imod vind. På figuren er vist, hvorledes en kuldebro i fugen undgås ved anbringelse af et varmeisoleringsmateriale. Dette isoleringsmateriale er i øvrigt også nødvendigt af brandtekniske grunde. På væggenes inderside afdækkes lodrette fuger med en liste, medens vandrette fuger indvendig skjules af fodpaneler eller skyggelister i loftet. Synlige indvendige fuger bør markeres, da bevægelser i fugerne ikke kan undgås.



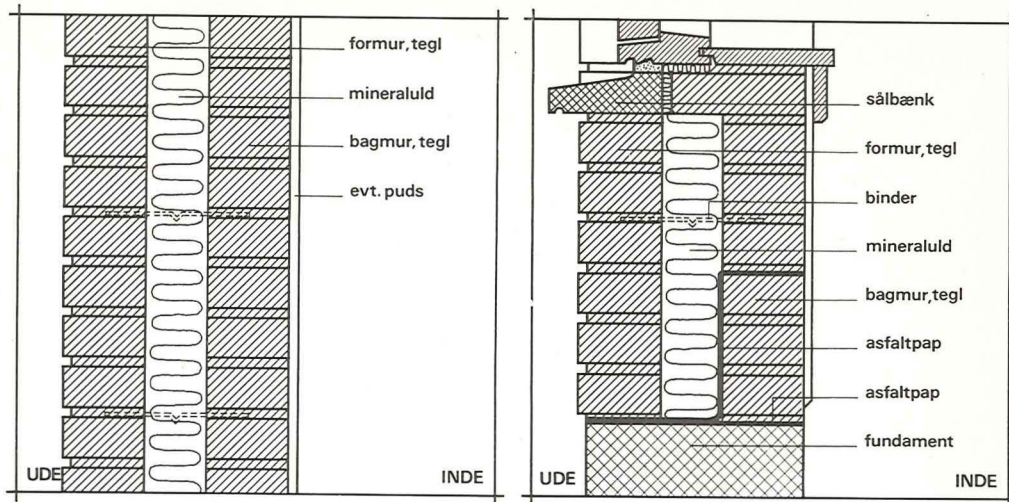
### Skalmuret træskeletvæg

Som udvendig beklædning på en træskeletvæg kan der opmures en halvstensmur. Imellem de to vægdele skal der findes et mindst 5 cm bredt luftmelletrum, som står i forbindelse med det fri. I både nederste og tredjenederste skifte i skalmuren udkradses 2 studsfuger pr. meter for at sikre trykudligning til hulrummet i væggen. Træskeletvæggen består af et oftest trykimprægneret træskelet, men har i øvrigt en opbygning, som svarer til almindelige træskeletvægge. Som vindtæt men diffusionsåbent lag kan anvendes en 12 mm asfaltimprægneret træfiberplade eller en 5 mm asbestcelluloseplade. For at skabe fornøden vindtæthed skal alle pladekanter være understøttede og fastsømmet pr. 10 cm. Det må forhindres at mørtelrester fra opmuringen falder ned i hulrummet og skaber en fugtbro til bagvæggen.



### Kombinationsmur

I hulrummet mellem formur og letbetonvæg er der anbragt 7 cm imprægneret mineraluld. Til trods for, at mineralulden udfylder hele hulrummet i væggen, vil væggen virke efter to-trinsprincippet, og de mindre vandmængder, som trænger igennem formuren, vil ikke trænge gennem den vandafvisende mineraluld til bagvæggen. Væggen er kondenssikker, da eventuelle mindre fugtmængder, som kondenserer på skillefladen imellem mineralulden og formuren, vil opsuges i denne og transporteres til det fri ved kapillarsugning i teglstenene. Normalt anvendes til bagvæg etagehøje 60 cm brede og 10 cm tykke elementer, som skubbes tæt sammen med en fugemørtel imellem, således at bagvæggen bliver lufttæt i samlingerne. I alle fuger anbringes bindere, således at der findes mindst 4 bindere pr. meter lodret fuge.

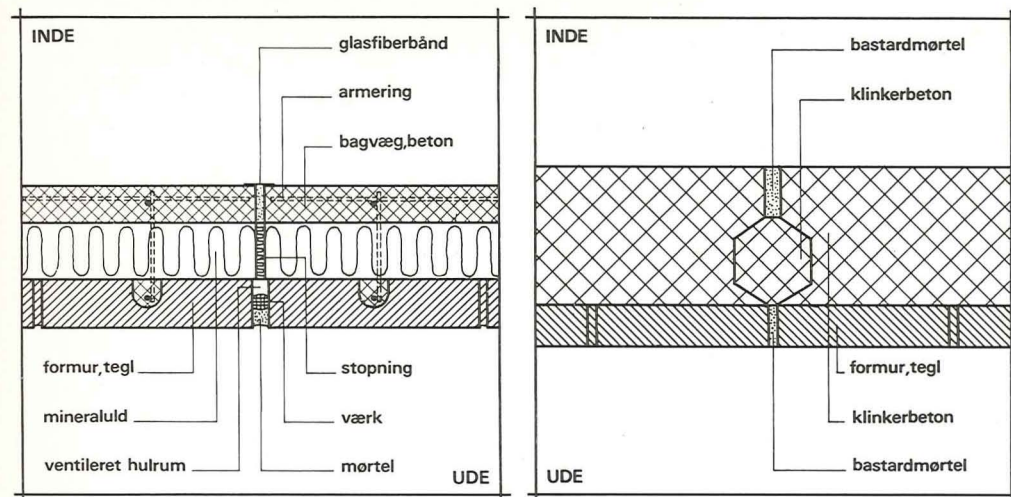


## Teglhulmur

En teglhulmur består af to 11 cm væghalvdele med et mellemrum på ca. 8 cm. Muren skaber tæthed over for regn og vind efter to-trinstætningens princip. Den ydre vange virker som regnskærm, og den indre vange, der ofte er pudset på indersiden, skaber lufttæthed. Selv om den indre vange står i blank mur, opnås der i reglen tilstrækkelig vindtæthed. Hulrummet i muren er udfyldt med imprægneret mineraluld. Erfaringen viser, at imprægneret mineraluld ikke leder regnvand til bagmuren til trods for, at hulrummet bag regnskærmen således er fyldt. Der må advares imod at benytte fugtopsugende materialer som hulrumsfyld, da slagregn, som trænger igennem formuren, vil kunne opsuges, hvorved væggenes varmeisoleringssevne vil forringes ganske væsentligt, og der vil kunne forekomme regngennemslag.

## Teglhulmur, detaljer

Der skal på fundamentet anbringes en kraftig asfaltpap, som forhindrer opsugning af grundfugt. Der skal endvidere anbringes en asfaltpap under formurens bund. Denne pap bøjes ca. 3 skifter op ad bagmuren, således at vand, som eventuelt samles i bunden af hulrummet, ikke kan suges op i bagmuren. Over døre og vinduer skal der anbringes sammenhængende Z-formede asfaltpapstrimler, som forhindrer, at slagregn, som måtte gennemtrænge formuren, ledes til bagmur. I væggen skal der findes mindst 8 bindere pr. m<sup>2</sup> mur. Disse bindere skal bestå af 4 mm galvaniseret tråd med en vandnæse midt på. Binderne bør have et svagt fald udefter. Under vinduer, som udsættes for større mængder slagregn, skal der anbringes uadskårnede sålbænke med drypnæse.

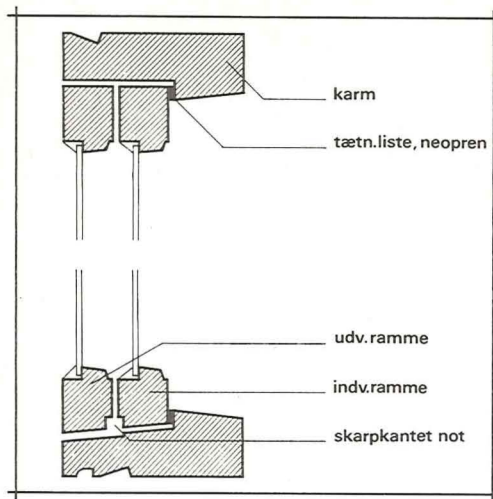


## Teglelement, dobbelt

På figuren ses et teglelement, hvor formuren består af teglsten, som er støbt sammen. Bagvæggen består af en 50 mm betonskive, og imellem de to vægdele findes 75 mm mineraluldisolering. Formur og bagvæg holdes sammen af en rustfast armering, men herudover findes ingen kuldebroer. Regntæthed i de lodrette fuger er opnået med en to-trinstætning, idet regnafvisning er etableret med værk og fugemørtel foran et til det fri ventileret hulrum. I fugens bageste del er der stoppet med mineraluld, og den egentlige vindtætning opnås med fugemørtelen på væggenes inderside, som dækkes med et glasfiberbånd. Hvad kondens i væggen angår, gælder samme betragtninger, som er angivet s. 23. Væggenes indvendige overflade er i reglen så glat, at væggen uden videre behandling kan tapetseres eller males.

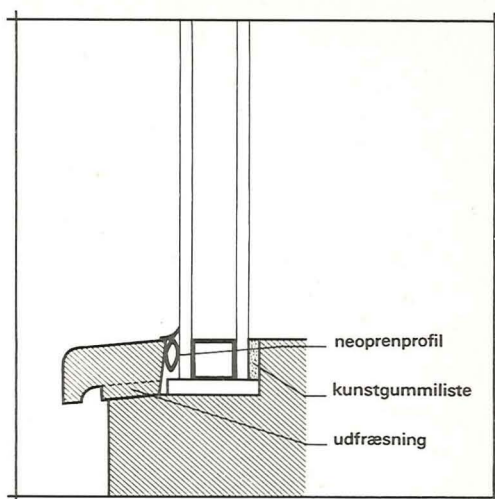
## Teglelement, massivt

Præfabrikerede teglstensmure kan også udføres som massive mure af tegl og klinkerbeton. Tætning imod regn og vind opnås i det viste eksempel med en ét-trinstætning, idet fugen udfyldes med klinkerbeton og bastardmørtel, der således skal sikre både mod vand- og luftindtrængen. Elementerne støbes i vandrette forme, hvori der først udlægges facadeteglsten i det forbandt, som ønskes i det udvendige murværk. Ovenpå teglstenene udstøbes 20 cm klinkerbeton. En traditionel fugtteknisk beregning viser, at der i væggen vil kunne ske kondensation på skillefladen imellem tegl og klinkerbeton. Skadeligt fugtindhold er dog aldrig blevet konstateret, fordi kondensfugten vil kunne suges til væggenes yderside, hvorfra den kan fordampe.



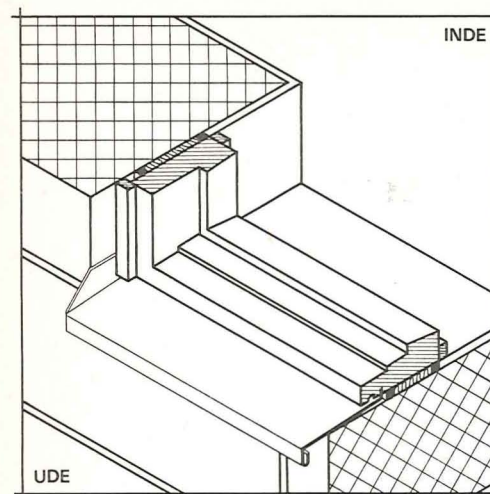
### Koblede vinduer

På figuren ses et dobbelt vindue med koblede rammer, hvor regntætning altid opnås med en to-trinstætning. Den indvendige ramme slutter tæt til karmen med en tætningsliste af neopren. Den lodrette fuger mellem den udvendige ramme og karm vil tillade, at mindre mængder slagregn kan passere ind til en lodret skarpkantet not, hvorfra vandet kan løbe ned og drænes bort til det fri. Detaljerne – især i vinduets hjørner – er afgørende for, om vinduet er regntæt, og nye vindueskonstruktioner bør derfor altid afprøves i en slagregnssimulator. Da hulrummet imellem de to lag glas er ventileret til det fri, vil der ikke dannes kondens på indersiden af det udvendige lag glas. Det er en ulempe ved koblede vinduer, at de også skal pudses på de sider af glasset, som vender mod hulrummet.



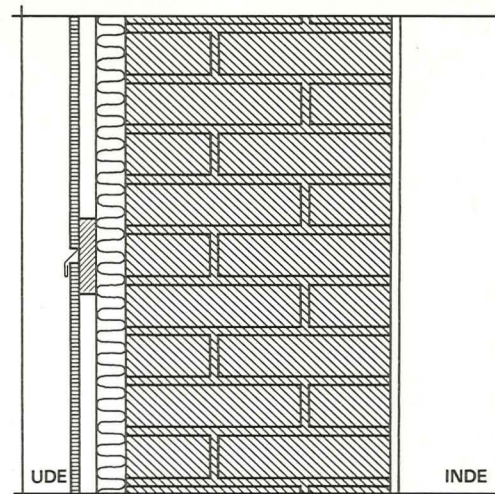
### Termoruder

Termoruder bør normalt indsættes ved anvendelse af en to-trinstætning. Hulrummet langs vinduets kanter skal stå i forbindelse med udeluften gennem udfræsninger i glaslisten. Regnafvisning er her opnået med en neoprenslange, medens vindtæthed er opnået med indvendig tætningsliste. I nye huse, hvor der endnu findes byggefugt, kan der under vinterforhold forekomme kondensation langs kanten på indersiden af det indvendige lag glas. Denne kondensation er uundgåelig, fordi kantforseglingen virker som en kuldebro. Hvis der derimod konstateres kondensation imellem de to lag glas, er forseglingen langs rudekanterne brudt, og vinduet vil til sidst kunne blive helt uigennemsigtigt. Den hyppigste årsag til, at forseglingen brydes, er, at vinduet fejlagtigt kommer til at optage lodrette belastninger.



### Fuger mellem karm og murværk

Traditionel stopning med værk og udfugning med mørtel er et eksempel på anvendelse af ét-trinstætning. Da der altid vil være bevægelser imellem murværk og trækarme, vil mørtlen før eller senere falde ud. Der kan i stedet benyttes en to-trinstætning, hvor regnafvisningen skabes ved hjælp af en liste med bagved liggende hulrum. Lufttætning kan skabes med en elastisk fugemasse i fugens bageste del. Fugen udfyldes for at skabe fornøden varmeisoleringsmateriale. Fugen skal være så bred, at det elastiske fugemateriale kan optage forekommende bevægelser uden at brydes. Kondensrisiko i fugen foreligger ikke, da alle elastiske fugematerialer er ret tætte over for passage af vanddamp. Elastiske fugemasser bør afdækkes med et materiale, som forhindrer at fugematerialet lider mekanisk overlast.



### Tillægsisolering

Ældre huse med massive mure ønskes ofte forsynet med ekstra varmeisoleringsmateriale og slagregnsbeskyttelse. Disse ønsker kan imødekommes ved på murens yderside at anbringe et varmeisoleringsmateriale afdækket med en pladebeklædning. Ved opsætning anvendes to-trinsprincippet. På murens yderside fastgøres et trykimprægneret lægtesystem, hvorimellem der anbringes stive og relativt lufttætte plader af mineraluld, som fastholdes med galvaniseret jerntråd. Som regnskærm anvendes f. eks. asbestcementplader, som kan opsættes med åbne lodrette fuger med en fugebredde på ca. 5 mm. I alle vandrette fuger anbringes inddækninger. Mellemrum imellem plade og isoleringsmateriale bør være ca. 20 mm.

I anvisningen gennemgås principperne for ydervæggens opgaver som klimaskærm. Der er især lagt vægt på at forklare, at ydervægge, når det er muligt, bør udformes efter princippet for den såkaldte to-trinstætning, hvor den vandafvisende og vindtætnende funktion opnås to forskellige steder i væggen. Endvidere gennemgås varmeisolering og kondensproblemer både fra et teoretisk og et praktisk synspunkt. Anvisningen afsluttes med en række eksempler på udformning af ydervægge.

ISBN 87 563 0084 0

