

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 1
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

## Indledning

Siden udgivelsen i 1950 af de første Byggebogsblade om tagpapdækning er der sket en kraftig udvikling både med hensyn til tagpapter, dækningsmetoder og anvendelsesområder.

Både kunststoffer og metalfolier indgår nu som armering og/eller overfladebeskyttende lag i flere tagpapter. Ordet *tagpap* er derfor ikke helt rigtigt i alle tilfælde, for så vidt som armeringsmaterialet ikke altid er et egentlig pap, f. eks. uldfiltpap.

I tagpapbranchen er man dog af praktiske grunde enige om indtil videre at bibeholde begrebet tagpap, som Danske Tagpapfabrikanter Brancheforening definerer således:

**Tagpap er et tagdækningsmateriale bestående af asfalt - eller tjæreimprægneret armeringsmateriale, som dobbeltsidigt kan belægges med asfalt (tjære) eller fyldstofholdigt asfaltdæklag (overfladeasfalt).**

**På overfladen kan anbringes bestrøningsmateriale.**

**Som armeringsmateriale benyttes filt eller væv af organisk (råpap, jute) eller uorganisk (glasfilt, glasvæv eller asbestpap) fibermateriale.**

## Afsnittets omfang

I afsnittet om tagpapdækning, hvis revision påbegyndes hermed, vil der kort blive gjort rede for de enkelte tagpapter og deres egenskaber. Vægten vil som hidtil ligge på den færdige tagdækning med en redegørelse for dennes opbygning, vægt, egenskaber og anvendelsesområder.

I denne forbindelse skal peges på den særlige kodning, som nu anvendes af alle tagpapfabrikanterne, og hvormed en tagdækning og dens bestanddele éntydigt karakteriseres ved tal- og bogstavssymboler. For denne kodning gøres der rede på 348.30/tagpapdækning, alment/blad 5.

I det almene stof indgår endvidere tagdækningsteori, generelle synspunkter på tagdækning m. v. og en gennemgang af underlag. Desuden omtales bygningslovgivningens krav og anvendelsesområder efter bygningsart og taghældninger.

## Afsnittets opdeling

Afsnittet om tagpapdækning er planlagt i revideret og udvidet stand at omfatte 14 blade. Heraf udsendes 4 blade - i oversigten nedenfor mærket med \* - i 19. udsendelse. De resterende blade påregnes fordelt over 20. og 21. udsendelse.

- \* 348.30 tagpapdækning, alment/blad 1 - indledning og terminologi.
- \* tagpapdækning, alment/blad 2 - tagpapter med reference til produktnavne
- \* tagpapdækning, alment/blad 3 - tagdækningsteori, beregning af fugttransmission
- \* tagpapdækning, alment/blad 4 - eksempel på beregning af fugttransmission
- tagpapdækning, alment/blad 5 - tagpapbranchens kodning, oversigt over underlag og hældning, oversigt over tagdækningsspecifikationer
- tagpapdækning, alment/blad 6 - underlaget; bygningslovgivningen, litteraturliste
- 348.31 tagpapdækning på brædder, krydsfinér, spånplader, træfiberplader og kork
- 348.32 tagpapdækning på beton
- 348.33 tagpapdækning på underlag af metal
- 348.34 tagpapdækning på særlige underlag
- 348.36 terrasseisolering

## Terminologi

De nedenfor anførte udtryk er gengivet i uddrag fra den af Danske Tagpapfabrikanternes Brancheforening i 1969 udgivet Nomenklatur for Asfalt- og Tjæreprodukter til Husbygning.

Nomenklaturen omfatter branchens fagudtryk, hvoraf nogle også anvendes inden for andre brancher, men ikke altid med samme betydning. De her anførte definitioner kan derfor kun antages at være gyldige for asfalt- og tjæreprodukter til bygningsbrug. Der skal især peges på den forskellige tolkning af ordene asfalt og bitumen. Der skelnes blandt nogle teknikergrupper mellem bitumen som den rene vare fra olieraffineriet, og asfalt når der er tilsat mineralsk fyldstof.

Denne skillelinie anvendes dog ikke konsekvent, og Danske Tagpapfabrikanternes Brancheforening er derfor gået ind for at bruge betegnelsen *asfalt* både for den fyldstofholdige og for den rene vare.

### Ajdækning

Anbringelse af beskyttelseslag mod mekaniske og/eller vejrsmæssige påvirkninger.

### Afstrøningsmateriale

Et stenmateriale, der påføres tagpap for at hindre sammenklæbning i rullen.

### Asbestpap

Pap, som overvejende består af asbestfibre. Udtrykket anvendes tillige om tagpap, fremstillet med asbestpap som armeringsmateriale.

### Asfalt

a. Ren asfalt er en højviskos væske, hovedsagelig bestående af kulbrinter eller derivater deraf, som er næsten fuldstændigt opløselige i svovlkulstof; asfalt er ikke flygtig og blødgøres gradvis ved opvarmning. Asfalts farve er sort eller brun, og stoffet har sammenklæbende egenskaber. Asfalt fremstilles ved raffinering af jordolie. Ren asfalt betegnes tillige *jordolieasfalt* eller *olieasfalt* for at understrege, at fremstillingen ikke er sket ud fra det naturligt forekommende produkt *naturasfalt*.

b. Betegnelsen asfalt benyttes også, når den rene asfalt er blandet med mineralske bestanddele som f. eks. filler.

### Asfalemulsion

Se emulsion.

### Banket

Forhøjning af horisontale tage, som hæver inddækningen over eventuel vandstand.

### Beg

Destillations- eller afdampningsrest fra f. eks. tjære. Begen kan benævnes nærmere efter tjærens oprindelse, f. eks. stenkulstjærebeg, brunkulstjærebeg. Når ikke andet er angivet, går man ud fra, at begen stammer fra stenkulstjære.

### Bestrøningsmateriale

Et kornet, mineralsk produkt, som anbringes på tagpaps overflade for at beskytte den underliggende asfalt mod vejrslaget.

### Built-up tagdækning

En tagdækning på flade tage med hældning under 1:20, bestående af 3 eller flere lag påklæbet tagpap, afsluttet med et lag ærtesten eller lignende udlagt på dækasfalt.

### Dampbremse (Diffusionsbremse)

Et vanddampbremsende lag, som anvendes i forbindelse med varmeisolering for at nedsætte risikoen for ophobning af fugt i denne.

### Diffusion

Se vanddampdiffusion.

### Diffusionsbremse

Se dampbremse.

### Dobbelt dækning

Tagdækning med 2 lag tagpap, hvor det øverste lag er med bestrøning.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 1
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

**Dækasfalt**

Det øverste asfaltlag i en built-up tagdækning, hvorpå stenmateriale udlægges.

**Emulsion**

Et system af to væsker, hvoraf den ene er fordelt som partikler i den anden.

Asfalemulsion består af asfaltpartikler emulgeret i vand under anvendelse af en passende emulgator.

**Enkelt dækning**

Tagdækning med ét lag tagpap med bestrøning.

**Fast asfalt**

Ren asfalt med så højt smeltepunkt, at den er fast ved stuetemperatur. Anvendes opvarmet til 180–200° C til klæbeformål.

**Filler**

Stenmel eller andet mineralsk stof af meget stor finhed. I almindelighed så finkornet, at hovedmængden passerer en sigte med maskevidde 0,074 mm.

**Flerlagsdækning**

Tagdækning med 3 eller flere lag tagpap, hvor det øverste lag er med bestrøning.

**Fodbane**

Tagpapstrimmel ved tagfod.

**Forstrygningsmiddel**

Asfaltopløsning, i reglen tyndtflydende, til første strygning af overfladen for at binde eventuelle løse partikler og for at skabe god kontakt mellem underlaget og det efterfølgende lag.

**Fugeasfalt**

Asfalt- eller asfaltkomposition, som er særligt egnet til udfyldning og tætning af fuger.

**Fuldklæbning**

Klæbning af tagpap- og membranbaner, isoleringsplader m. v. på hele fladen.

**Glasfilt (Glasvlies, Staple Tissue)**

Armeringsmateriale til tagpap, bestående af et tyndt lag sammenlimesede glasfibre.

**Glasvæv**

Armeringsmateriale til tagpap og membranbaner, bestående af sammenvævet glasfibergarn.

**Impregnering**

Behandling af armeringsmateriale i tagpap og membranbaner med varm, tyndtflydende asfalt eller tjære, således at fibrene omhylls, og hulrum mellem fibrene udfyldes.

**Inddækning**

Tætning ved tagpaps tilslutning til kanter, hjørner og fremspring på taget. (Skorsten, ventiler, ovenlys m. m.)

**Koldflydende asfalt**

Asfalt, som er gjort flydende ved stuetemperatur ved tilsætning af flygtigt opløsningsmiddel (cutbackasfalt).

**Membranbane**

Et materiale til vandisolering bestående af asfaltimpregneret jute- eller glasvæv, som dobbeltsidigt er belagt med et asfaltdæklag (overfladeasfalt). Membranbanen kan have et indlæg af metalfolie.

**Membranisolering**

Isolering mod vandtryk.

**Mineralfilt**

Uorganisk armeringsmateriale til tagpap. Se asbestpap og glasfilt.

**Overfladeasfalt**

Det lag af tagdækningsmateriale, hvori bestrøningsmateriale bliver nedvalset og fastholdt.

**Overlæg**

Det stykke, hvormed en tagpapbane overlapper en anden.

**PAM = vanddampdiffusionsmodstand**

Modstand mod gennemgang af vanddamp i et materiale.

$$PAM = \frac{m^2 \cdot h \cdot \text{mmHg}}{g}$$

er det reciproke af diffusionstallet, som for en membran er den vandmængde, målt i g, som i løbet af en time passerer 1 m<sup>2</sup> af membranen, når forskellen mellem partialtrykkene på de to sider er 1 mmHg.

**Punktklæbning**

Pletvis klæbning af tagpap- og membranbaner, isoleringsplader m. v. F. eks. 5 pletter à 400 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> jævnt fordelt (ca. 20 %).

**Rygbane**

Tagpapstrimmel, der anbringes midt over tagryggen.

**Råpap**

Et produkt af tekstilfibre og/eller cellulosestaver, der anvendes som armeringsmateriale ved tagpapfremstilling.

**Shingles**

Faconstykker, udskåret af tagpap med bestrøning til udlægning i specielle mønstre.

**Stern (Sternbræt)**

På højkant anbragt plade eller bræt som afslutning for tagbeklædningen, som regel fastgjort for enden af spærerne.

**Stød**

Tæt samling uden overlæg af to papbaner.

**Støvbinder**

Se forstrygningsmiddel.

**Svejsning**

Sammensmeltning af baner eller strimler i egen asfalt.

**Sømløs dækning**

Dækning, hvor den enkelte bane sømmes i bagkanten, således at alle søm skjules af den efterfølgende banes klæbede overlæg.

**Tagbrønd**

Samlestykke mellem tagdækning og faldstamme.

**Taghældning**

Den vinkel, tagfladen danner med vandret plan. Taghældningen udtrykkes normalt som forholdet mellem højde og vandret længde. (h/l).

**Tagpapsøm**

Blanke søm med stort hoved, der ved 25 mm tagbrædder skal være 25/25 og ved tyndere brædder tilsvarende kortere. Synlige tagpapsøm skal være galvaniserede.

**Teglunderlag**

Vandtæt underlag for tagsten og skifer, bestående af f. eks. asfaltimpregneret pap, som anbringes mellem lægter og spær.

**Tjærepap**

Se definitionen på tagpap i afsnittet Indledning på omstående side.

**Trykudligning**

Udligning af lokale overtryk under tagdækningen ved forbindelse til yderluften gennem f. eks. riste, luftspalter eller hætter.

**Trækstyrke**

Trækstyrken for et materiale, f. eks. tagpap, er det træk, man ved stigende belastning af en prøvestrimmel aflæser, når brud finder sted. (I et normeret apparat).

**Uldfilt pap**

Råpap, der overvejende består af tekstilfibre.

**Underlagspap**

Tagdækningsmateriale, som er særligt egnet som under- eller mellem-lag ved tagdækning.

**Vanddampdiffusion**

Vanddamps vandring gennem f. eks. en væg eller en membran, når vanddamptrykket (partialtrykket) er større på den ene side end på den anden side. (Se i øvrigt PAM).

**Varmflydende asfalt**

Se fast asfalt.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 2
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

### Tagpaptyper

De enkelte tagpapfabriker foretrækker naturligt nok, at specifikationer over tagdækningsarbejder indeholder fabrikkernes varenavne. Samarbejdet inden for branchen omfatter bl. a. bestræbelser mod ensartede og éntydige specifikationer – jfr. branchens specifikationsnumre, 348.30/tagpapdækning, alment/blad 5.

For at muliggøre en umiddelbar reference mellem de tagpaptyper, som kendetegnet ved fabrikkernes varenavne indgår i specifikationerne, kan det være ønskeligt at kunne indordne varenavnene under de generelle produktnavne.

I det følgende er under de betegnelser for tagpaptyper, som modsvares af varenavne, anført varenavne fra følgende 7 tagpapfabriker i den anførte orden:

*Evers & Co. A/S (E)*

*Frisenborg Fabrikker A/S (F)*

*A/S Hotaco (H)*

*Akts. for Kemisk Industri (K)*

*A/S Phoenix (P)*

*Svendborg Tagpapfabrik (S)*

*Akts. Jens Villadsens Fabriker (V)*

#### Asfaltmineralfilt (GF-tagpap).

Asfaltpap med armering af glasfilt. Dækmassen bestrøs med finkornet stenmateriale for at undgå klæbning i rullen.

*Vægt:* Ca. 2 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 20 m lange baner, 60, 65 og 100 cm brede.

*Anvendelse:* Underlag i flerlagsdækninger, og til isolering mod fugt.

Ved eventuel armering med aluminiumfolie har varenavnene tilfølsbetegnelsen „Al“ eller „Alu“.

#### Asfaltmineralfilt med bestrøning (GF-tagpap).

Asfaltmineralfilt med bestrøning på oversiden.

*Vægt:* Ca. 3,5 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 10 m lange baner, 100 cm brede.

*Anvendelse:* Øverste lag i flerlagsdækninger på tage med ringe fald.

Ved eventuel armering med aluminiumfolie har varenavnene tilfølsbetegnelsen „Al“ eller „Alu“.

#### Asfaltmineralvæv med bestrøning (GV-tagpap).

Asfaltpap med armering af glasvæv. Dækmassen kan være tilsat gummi. Bestrøning på oversiden.

*Vægt:* Ca. 3,5 kg/m<sup>2</sup>, 4,3 kg/m<sup>2</sup> og 6 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 10 m og 8 m lange baner, 100 cm brede.

*Anvendelse:* Øverste lag i flerlagsdækninger på tage med ringe fald.

#### B-pap.

Asfaltpap med armering af uldfilt. Efter pålægning af overfladeasfalt påføres en belægning af knuste stenmaterialer, natursten eller kunstigt farvede. Undersidens dækmasse beskyttes ved strøning med finkornet stenmateriale.

*Vægt:* Ca. 4,5 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 10 m lange baner, 60 eller 100 cm brede.

*Anvendelse:* Øverste lag i dobbelt- og flerlagsdækninger.

#### C-pap.

Asfaltpap med armering af uldfilt.

*Vægt:* Svarer til B-pap, men lidt lettere, ca. 3,5 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 10 m lange baner, 60 eller 100 cm brede.

*Anvendelse:* Som B-pap, fortrinsvis til reparation og vedligeholdelse.

(E): Merkural. (F): Frifex GF-20 Mineralfilt. (H): Tacosil. (K): Bitusil. (P): Bitufilt (S): Fiona-Mineral. (V): Sicoral.

(E): Solidol GF 35. (F): Frifex GF 35 Asfaltpap. (H): Skifer Tacosil. (K): ...  
..... (P): Minerol GF-35 (S): Panser GF 35. (V): Icopal G.

(E): Solidol GV-60 (F): ..... (H): Skifer-Tacodrite GV.  
(K): Akisil GV-35. (P): Minerol GV-60. (S): Panser GV 60 (V): Icopal GV.

(E): Solidol B. (F): Frifex B. (H): Tacofalt B. (K): Akiton B. (P): Minerol B.  
(S): Panser B. (V): Icopal B.

(E): Solidol C. (F): Frifex C. (H): Tacofalt C. (K): Akiton C. (P): Minerol C.  
(S): Panser C. (V): Icopal C.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>			<b>348.30</b>	blad 2
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning			<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

(E): Skania. (F): Frifex Bitumenpap. (H): ..... (K): Sælpap, grå.  
(P): Elite. (S): Elastikpap. (V): Sirius.

**Let asfaltpap**

Asfaltpap med armering af uldfiltpap. Bestrøning på oversiden (grå overflade).

Vægt: Ca. 2,5 kg/m<sup>2</sup>. Leveres i 10 m lange ruller, 60 og 100 cm brede.

Anvendelse: Enkeltdækning på midlertidigt byggeri.

**Membranbane**

Fremstilles af særlige asfaltblandinger. Armering kan være jute, glasvæv, jute + aluminiumsfolie, glasvæv + aluminiumsfolie.

Vægt: Ca. 3,5 kg/m<sup>2</sup> og ca. 5,5 kg/m<sup>2</sup>.

Materialet fremstilles i rulleform, leveres med 10 m lange baner, 100 cm brede og tykkelser 3 og 5 mm.

Anvendelse: I forbindelse med betonkonstruktioner som isolering mod fugt og vandtryk, f. eks. på tage, terrasser og altaner.

De her udfor nævnte varenavne på membranbaner har for de flestes vedkommende tillægsbetegnelser, JV for jutevæv, GV for glasvæv. Tillægsbetegnelse for armering med aluminiumsfolie er „Al“ eller „Alu“.

(E): Evers-Bitumenplade. (F): Frifex-Membranbane. (H): Tacodrite. (K): Akidrite. (P): Bitumex. (S): Fiona-Jute. (V): Villadrite.

**Shingles**

Faconstykker opdelt i 3 lige store flige, som hovedregel udskåret af asfaltpap kvalitet B (se B-pap).

De enkelte shingles er oftest ca. 30 × 90 cm.

Anvendelse: Øverste lag på tage af træ, fortrinsvis på tagflader med hældning over 20°.

(E): Evers Shingles. (F): ..... (H): Tacospån. (K): Akiton-Shingles. (P): Minerol-Shingles. (S): Panser Shingles. (V): Icopal-Shingles.

**Trykudligningspap**

Asfaltmineralfilt med grov stenbelægning på undersiden.

Anvendelse: Underlag i flerlagsdækninger på tage af beton og letbeton. Punktclæbes ca. 20 %. Stenmaterialet hæver trykudligningspappet, og hulrummet mellem pap og tagflade sættes i forbindelse med yderluften.

(E): Evers Trykudligning. (F): Frifex Trykudligning. (H): Tacoair. (K): Ventilaki. (P): Acerotex. (S): Fiona-Ventilationspap. (V): Ventilag.

**Underlagspap**

Asfaltpap med armering af uldfiltpap, forsynet på begge sider med bestrøning med finkornet stenmateriale.

Vægt: Fremstilles i forskellige kvaliteter fra ca. 1,3/m<sup>2</sup> til ca. 2,5 kg/m<sup>2</sup>. Almindelig vægt for flere fabrikater er ca. 2 kg/m<sup>2</sup> („2 kg asfaltpap“).

Leveres i 20 m lange ruller, 60 og 100 cm brede.

Anvendelse: Underlag ved flerlagsdækninger, til opbygning af built-up tage.

De her udfor nævnte varenavne på lette asfaltmapper har for fleres vedkommende desuden tillægsbetegnelser, der refererer til vægten.

(E): Danica, Merkur. (F): Frifex Underpap. (H): Tiger (+ versal). (K): Asfaltpap-2 kg. (P): Biturol. (S): Fiona. (V): Thor A, Løve A.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 3
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

## Tagdækningsteori.

### Kondensfugt.

Problemet kondensfugt i tagkonstruktioner med tagpapdækning er fortrinsvis kædet sammen med den større udbredelse af flade tagkonstruktioner, hvor der søges opnået en balance mellem krav om mindst mulig vægt og størst mulig spændvidde. Til den lave vægt medvirker både tagbelægningen – flerlagsdækninger med tagpap – og de i dag hyppigst anvendte isoleringsmaterialer.

Som oftest udføres tage med lav hældning på baggrund af erhvervet erfaring, suppleret med byggelovgivningens almindelige krav og nødvendige statiske beregninger, men det forudsætter hos den projekterende tillige en elementær viden om fugtvan-dringsproblemer.

I mange tilfælde vil det dog være rigtigst at lade foretage en be-regning af fugttransporten og kondensrisikoen i konstruktionen.

Mulighederne for, at der opstår kondens, hører nøje sammen med temperaturfordelingen i tagkonstruktionen, den relative luftfugt-ighed, eventuel tilstedeværelse af byggefugt (betontage), fugt-vandring fra det opvarmede rum under taget og ventilation af det område af konstruktionen, hvor kondensation vil kunne ind-træffe.

I det efterfølgende gennemgås i kortfattet form nogle hovedsyns-punkter på de forhold, der er bestemmende for, om der kan opstå kondens i en tagkonstruktion med tagpapdækning.

På blad 4 gennemgås et eksempel på en forenklet beregning af fugttransmission.

## Beregning af fugttransmission.

### Forudsætninger.

#### A. Kendskab til tagkonstruktionens k-værdi.

I mange tilfælde vil k-værdien kunne hentes direkte fra et opslags-værk med k-tabeller.

Hvor dette ikke er muligt, foretages en forenklet beregning af k-værdien, idet varmeledningstallet  $\lambda$  (lambda) for de i konstruk-tionen indgående materialer først undersøges.\*

k-værdien for en tagkonstruktion, som vinkelret mod varmestrøm-men er opdelt i plan-parallele lag, og beregnes af formlen:

$$\frac{1}{k} = m_i + m_u + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + m_a + m_b$$

$m_i + m_u$  er summen af overgangsmodstanden for tagkonstruktionens to flader i  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$ . For tag mod det fri kan der i praksis regnes med  $m_i + m_u = 0,20$ . ( $m_i = 0,15$ ;  $m_u = 0,05$ )

$e_1, e_2$  er tykkelsen af det pågældende materiale i meter.

$\lambda_1, \lambda_2$  er det praktisk anvendelige varmeledningstal i  $kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$ .

$\frac{e}{\lambda}$  = varmemodstanden for det pågældende materiale i den givne tykkelse.

Ved indsættelse i formlen fås dels det enkelte tags varmemodstand, dels den samlede varmemodstand, udtrykt ved  $\frac{1}{k}$  og endelig ud-regnes k-værdien.

$m_a, m_b$  er varmemodstanden for særlige lag, f. eks. pap og folier, som kan slås op i specialtabeller.

#### B. Temperaturforløbet.

Når man kender den udvendige temperatur ved tagfladen og den indvendige ved loftet, kan man med kendskab til varmemodstan-den i de enkelte lag også beregne temperaturforløbet i tagkon-struktionen. Det er afgørende at kende temperaturforløbet for at kunne finde frem til det sted i tagkonstruktionen, hvor kondensa-tionen vil ske. Der forudsættes stationær varmestrøm i konstruk-tionen og lige stor varmestrøm gennem alle lag.

Som led i den forenkledte beregning kan temperaturforløbet frem-stilles grafisk. Temperaturskalaen afsættes vandret, og lodret af-sættes de enkelte lag og overgangsmodstanden med en tykkelse, der indbyrdes svarer til varmemodstanden. I eksemplet, fig. 1, er enheden  $1,0 m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$  vist svarende til 20 mm, men da temperaturfordelingen ved stationære forhold er lineær, og tem-peraturkurven derfor en ret linie, kan enheden fastsættes efter praktisk behov.

Temperaturen i overgangen mellem de enkelte lag og inde i lagene aflæses umiddelbart.

#### C. Dugpunkt.

Den atmosfæriske luft indeholder vanddamp i svingende mæng-der efter klimaforhold og årstid. Vanddampindholdet kan karak-teriseres ved vanddampens partialtryk – det tryk, vanddampen ville udøve, hvis der ikke var andre luftbestanddele til stede. Det kan f. eks. angives som mm kviksøltryk (mm Hg).

Luft kan ikke optage ubegrænsede mængder vanddamp, og til en-hver temperatur svarer der et bestemt største vanddampindhold; det hertil svarende partialtryk benævnes mætningstryk.

Luften er kun undtagelsesvis mættet med vanddamp, men indeholder en mængde, der angives som en procentdel af det mættede indhold ved en given temperatur.

Dette benævnes relativ fugtighed – RF –, angivet i procent, f. eks. 80 % RF, og måles med et hygrometer.

\* Bygebogen vil senere bringe en udførlig gennemgang af varmeisoleringsteorien i hovedgruppe O. Deri vil også indgå en oversigt over  $\lambda$ -værdien for et antal materi-aler. Der henvises bl. a. til Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af varmetab (3. udgave 1968) og til firmainformationsblade.

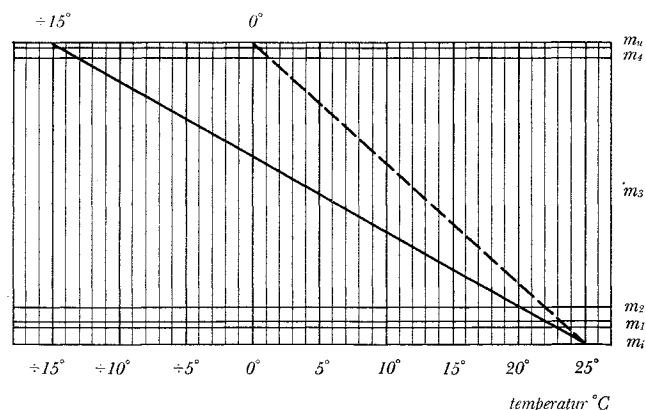


Fig. 1.

Grafisk fremstilling af temperaturforløbet i en tagkonstruktion, der regnet nedefra består af 12 cm beton, 5 cm polystyren, 2 cm træuldbe-ton og 2 lag tagpap.

Den vandrette deling angiver de enkelte lags varmemodstand i  $m^2 h ^\circ C/kcal$ ; 20 mm på tegningen svarer til enheden.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 3
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

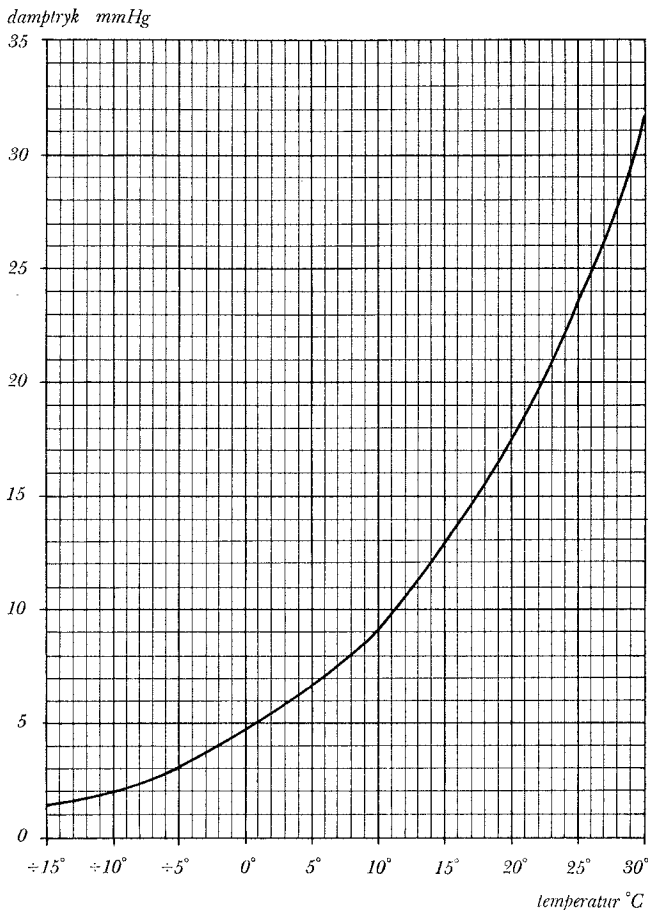


Fig. 2

Grafisk afbildning af sammenhængen mellem damptryk i mmHg og temperatur i °C. På kurven kan aflæses det mættede damptryk  $p_{\max}$  ved en given temperatur.

Dugpunktet aflæses efter at damptrykket ved den givne relative fugtighed,  $p_{RF}$ , er udregnet af formlen øverst i modstående spalte.

Fra krydsningspunktet for det udregnede damptryk  $p_{RF}$  og den givne temperatur trækkes en vandret linie mod venstre. Hvor linien skærer kurven aflæses temperaturen, som da angiver dugpunktet.

Er den relative fugtighed og temperatur kendt, kan vanddamptrykket findes af formlen

$$\frac{RF}{100} \cdot p_{\max} = p_{RF}$$

I stedet for RF indsættes tallet for den relative fugtighed.

For  $p_{\max}$  indsættes mættet damps tryk ved den givne temperatur.

$p_{RF}$  angiver da vanddamptrykket i mmHg ved den angivne temperatur og den målte relative fugtighed.

Ved en afkøling af luften formindskes  $p_{\max}$  og  $p_{RF}$  forbliver konstant. Den relative luftfugtighed stiger uden yderligere tilførsel af vanddamp. Ved fortsat afkøling nås en temperatur, hvor RF er 100 %.

Herved er *dugpunktet* nået og yderligere afkøling betyder, at der udskilles kondensvand som udtryk for, at luften skiller sig af med fugtindholdet over 100 % RF ved den pågældende lavere temperatur.

Kurven, fig. 2, viser sammenhængen mellem damptrykket i mmHg og temperaturen i °C. På kurven aflæses det mættede damptryk ved en bestemt temperatur, og tallet indsættes i formlen ovenfor sammen med de målte værdier for temperatur og relativ fugtighed.

Ved i diagrammet at afsætte skæringspunktet for det således udregnede relative vanddamptryk og den målte temperatur har man et udgangspunkt for at finde dugpunktet. Fra skæringspunktet trækkes en vandret linie mod *venstre*, og hvor denne skærer damptrykkurven aflæses temperaturen = dugpunktet.

#### D. Dampdiffusion

Der er som oftest forskel i den relative luftfugtighed såvel som i temperaturerne ude og inde og derfor også forskel i vanddamptrykkene. Der vil under sådanne forhold ske en fugtvandring (diffusion) i tagkonstruktionen fra siden med størst vanddamptryk til siden med mindst tryk.

Temperatur og RF er sammen bestemmende for vanddamptrykket, som kan omregnes til  $\text{kg/m}^2$  (= mmVS) ved at gange med faktoren 13,6 (kviksølvs vægtfylde).

Bestemmende for fugtvandringen er desuden de forskellige materialegags *diffusionsmodstand* (W), der kan karakteriseres ved materialets *diffusionstal* (d) angivet f.eks. i g/mhmmHg.

Omregning til diffusionsmodstand sker (analogt med varmeoverføringsmodstanden) ved hjælp af formlen:

$$W = e/d \quad (\text{m}^2\text{hmmHg} = \text{PAM}),$$

hvor e angiver materialetykkelsen.

Diffusionsmodstanden kan også karakteriseres ved *diffusionsmodstandsfaktoren* ( $\mu$ ), der angiver, hvor meget større diffusionsmodstanden er i et materiale end for et luftlag med samme tykkelse og ved samme temperatur.

Da luftens diffusionstal er ca. 0,9 g/m h mmHg fås sammenhængen af formlen:

$$d = \frac{0,09}{\mu}, \text{ eller}$$

$$W = \frac{\mu}{0,09} e \quad (\text{m}^2\text{hmmHg/g}).$$

De fleste tagpapdækninger er i besiddelse af meget stor diffusionsmodstand, og i praksis vil man derfor især interessere sig for fugtvandringen gennem den underliggende del af konstruktionen.

I et tag af beton og letbeton vil man normalt tolerere nogen kondensfugtighed i den øverste del af betonen, men kræver dog undertiden anvendt en trykdulignende underpap for at hindre for kraftigt tryk på undersiden af tagpap'en med fare for, at den slår fra.

I en (flad) tagkonstruktion af træ er risikoen for råd og svamp en så alvorlig faktor, at bortledning af den fugt, der er trængt gennem de underliggende lag, må ske ved ventilering af området umiddelbart under tagbrædderne. For at nedsætte dampdiffusionen i sådanne konstruktioner af træ kræver BR-66, kap. 7, stk. 7, indlagt et dampstandsende lag på den side af tagkonstruktionens varmeisoleringslag, som vender mod den varme side.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 4
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

2 lag klæbet tagpap

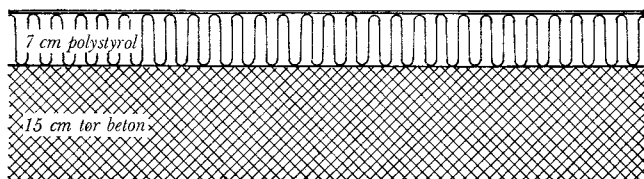


Fig. 3.

Snit i den tagkonstruktion for hvilken fugttransmissionen beregnes i eksemplet på dette blad. Mål 1:10.

lag	varmegennemgangsmodstand ( $m^2 \cdot h \cdot C/kcal$ )	temperaturfald ( $C^\circ$ )	temperatur i grænselagene ( $C^\circ$ )	tilsvarende mætningstryk (mmHg)
indv. overgangsmodst.	$m_i = 0,15$	1,4	22,00	19,83
15 cm beton	$\frac{0,15}{1,5} = 0,10$	0,9	20,6	18,21
7 cm isolering	$\frac{0,07}{0,033} = 2,12$	18,9	19,7	17,22
2 lag klæbet tagpap	0,05	0,4	0,8	4,86
udv. overgangsmodst.	$m_u = 0,05$	0,4	0,4	4,72
sum	$k = \frac{2,47}{0,40}$	22,0	0,0	4,58

Tabel 1. Beregning af temperaturen i grænselagene.

### Eksempel på beregning af fugttransmission

Kendskabet til mekanismen ved fugttransporten i byggematerialer er temmelig mangelfuldt, hvorfor praktiske beregninger må betragtes som noget usikre. Ønskes fuldstændig sikkerhed for, at fugt ikke afsættes i konstruktionen, må dugpunktet ikke nås på noget sted. Dette svarer til, at det beregnede partielle damptryk overalt skal være mindre end mætningstrykket svarende til den herskende temperatur.

Det følgende eksempel (tabel 1 og 2) viser en praktisk fremgangsmåde til denne beregning af kondensrisikoen.

Imidlertid giver en egentlig fugttransportberegning bedre mulighed for vurdering af en given konstruktion samt eventuelt dimensionering af den diffusionsmodstand, et dampbremsende lag skal være i besiddelse af, for at kondensationen nedsættes eller helt undgås. En sådan fugttransportberegning er derfor gennemført i tilslutning til det valgte eksempel.

Som eksempel på fugtberegningen for en tagkonstruktion vises beregningerne for en konstruktion som vist i fig. 3. Konstruktionen består nederst af 15 cm tørt betondæk, herover er anbragt 7 cm isolering med tagdækning af to lag klæbet tagpap.

I første omgang tænkes konstruktionen udført uden dampbremsende lag mellem betondækket og isoleringen. Af hensyn til overskueligheden ses endvidere bort fra klæbelaget herimellem samt eventuelle „trykudlignende lag“. Disses virkning vil under alle omstændigheder være ret problematisk.

Beregningen kan foregå i to trin. Først beregnes temperaturen i grænselagene, hvorefter de hertil svarende *mætningstryk* kan findes i en tabel eller kurve over mættede dampes tryk (jvf. fig. 2, blad 3). Beregningsforløbet fremgår af *tabel 1*.

Klimaforholdene er sat til:

- 1) udvendig  $0^\circ C$ , 90 % RF
- 2) indvendig  $22^\circ C$ , 50 % RF

Da dampdiffusionen i første tilnærmelse kan regnes at følge en lov, der er analog til formelen for varmetransmission, d.v.s. det partielle damptrykfald er proportional med lagets diffusionsmodstand og omvendt proportional med konstruktionens samlede diffusionsmodstand, foregår beregningen af *damptrykkene*, *tabel 2*, på samme måde som temperaturberegningerne, idet der dog kan ses bort fra overgangsmodstandene.

Diffusionstallet  $d$  er angivet i diverse håndbøger\*). Her benyttes følgende værdier:

$$\text{beton: } d = 3 \times 10^{-3} \text{ g/mhmmHg}$$

$$\text{polystyrol: } d = 1 \times 10^{-3} \text{ g/mhmmHg}$$

I visse håndbøger benyttes enheden PAM pr. cm. *Diffusionsmodstanden* i  $m^2 \text{hmmHg/g} = \text{PAM}$  fås da ved multiplikation med lagtykkelsen i cm. Jfr. definitionen af PAM, blad 1. Diffusionsmodstanden for membraner, klæbelag, m. v. findes som regel angivet i PAM.

Diffusionsmodstanden for 2 lag klæbet tagpap skønnes på følgende måde:

$$\begin{aligned} \text{diffusionsmodstand for 1 lag 2 kg} & \\ \text{mineralfiltpap:} & \text{ ca. } 1000 \text{ m}^2 \text{hmmHg/g} \\ \text{diffusionsmodstand for 2 lag klæbemasse:} & \text{ ca. } 800 \text{ m}^2 \text{hmmHg/g} \\ \text{diffusionsmodstand for 1 lag B-pap:} & \text{ ca. } 500 \text{ m}^2 \text{hmmHg/g} \\ & \text{ ca. } 2300 \text{ m}^2 \text{hmmHg/g} \end{aligned}$$

Damptrykket i grænselaget mellem isolering og tagpapdækning skulle efter denne beregning være større end mætningstrykket svarende til den beregnede grænselagstemperatur. *Dette er ensbetydende med, at der forekommer kondensation i grænselaget, da det reelle damptryk aldrig kan blive større end mætningstrykket ( $p_s$ ).*

lag	diffusionsmodstand ( $m^2 \text{hmmHg/g}$ )	damptrykfald (mmHg)	damptryk i grænselaget (mmHg)
15 cm beton	$\frac{0,15}{3 \times 10^{-3}} = 50$	0,12	9,9 ( $p_i$ ved $22^\circ C$ , 50 % RF)
7 cm isolering	$\frac{0,070}{1 \times 10^{-3}} = 70$	0,17	9,8
2 lag klæbet tagpap	2300	5,52	9,6 $> p_s = 4,86$
sum	2420	5,81	4,1 ( $p_u$ ved $0^\circ C$ , 90 % RF)

Tabel 2. Beregning af damptryk

\* Se bl. a. P. Lund-Hansen; Fugttransport i byggematerialer. Meddelelse nr. 15 fra Laboratoriet for Varmeisolering (DtH). Siderne 83-84, diffusionstal for nogle byggematerialer.

<b>3</b>	<b>34</b>	<b>348</b>	<b>348.3</b>		<b>348.30</b>	blad 4
konstruktioner	tage	tagdækning	tagpapdækning		<b>tagpapdækning, alment</b>	

oktober 1969

lag	diffusionsmodstand (m <sup>2</sup> hmmHg/g)	damptrykfald (mmHg)	damptryk i grænselaget (mmHg)
15 cm beton	50	0,01	9,9
dampbr. lag	20.000	5,16	9,9
7 cm isolering	70	0,02	4,7
tagpapdækning	2.300	0,59	4,7
sum	22.400	5,78	4,1

Tabel 3. Damptrykberegning med dampbremsende lag under isoleringen

Den fugtmængde, der kondenserer pr. tidsenhed, kan tilnærmet beregnes af formlen:

$$G = g_{ind} \div g_{ud} = \frac{p_i \div p_s}{W_1} \div \frac{p_s \div p_u}{W_2}$$

$g_{ind}$  angiver den fugtmængde, der diffunderer ind i konstruktionen, og  $g_{ud}$  den mængde, der diffunderer bort.

$W_1$  angiver den samlede diffusionsmodstand på den varme side af kondensationszonen og  $W_2$  diffusionsmodstanden af lagene på den kolde side.

Man får således:

$$G = \frac{9,9 \div 4,86}{120} \div \frac{4,86 \div 4,1}{2300} = 0,042 \div 0,0003 = 0,042 \text{ g/m}^2 \text{ h}$$

Regnes en vinter at svare til f. eks. 4 måneder med de i tabel 1 og 2 forudsatte forhold, vil den samlede kondensmængde i løbet af en vinter beløbe sig til:

$$G = 0,042 \times 4 \times 30 \times 24 = \text{ca. } 120 \text{ g/m}^2$$

Det bør dernæst i de enkelte tilfælde vurderes, om en sådan kondensmængde vil kunne tolereres. Dette vil afhænge af udtørringsmulighederne, nedsættelsen af isoleringsmaterialets varmeledningstal o. a.; *men som regel bør flade, uventilerede tagkonstruktioner projekteres således, at kondens totalt undgås.*

Benyttes f. eks. en mineralfiltpap armeret med aluminiumsfolie som dampbremsende lag under isoleringen vil damptrykberegningen se ud som vist i tabel 3.

Det beregnede damptryk er nu overalt mindre end mætningstrykkene (jfr. tabel 1), hvorfor kondensation undgås.

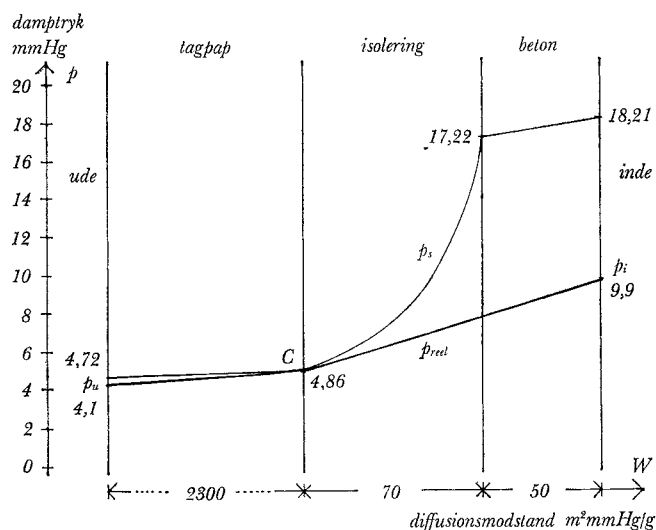


Fig 4 Grafisk beregning af fugttransmission. Kurven  $p_s$  afsættes med lagenes diffusjonsmodstand i mmHg som abscisse, og mætningstrykket i m<sup>2</sup>mmHg/g som ordinat. Der er gået ud fra konstruktionen som vist i fig. 1, og anvendt de i tabel 1 på modstående side beregnede mætningstryk. Diffusionsmodstandene fremgår af tabel 2.

Den reelle damptryklinie  $p_{rel}$  er udtrykt ved tangenterne fra  $p_i$  og  $p_u$  til kurven. Jfr. tillige tabel 2 på modstående side.

#### Beregning ved grafisk metode

Beregningerne kan også foretages ved hjælp af en grafisk metode, og denne bør ofte foretrækkes på grund af sin overskuelighed.

Efter en beregning af temperaturforløbet optegnes de beregnede mætningstryk med konstruktionens diffusjonsmodstande som abscisse. Denne reelle damptryklinie er da:

- 1) den rette forbindelseslinie mellem det partielle damptryk inde og ude ( $p_i$  og  $p_u$ ), såfremt denne falder under  $p_s$ -kurverne
- 2) tangenterne fra  $p_i$  og  $p_u$  til  $p_s$ -kurverne, hvis linien  $p_i - p_u$  skærer disse.

I fig. 4 er det tidligere behandlede eksempel optegnet efter disse retningslinier.

$g_{ind}$  og  $g_{ud}$  fås da umiddelbart som hældningskoefficienten af linien  $p_i - C$ , henholdsvis  $C - p_u$ .

Størrelsen  $W_x$  af den nødvendige diffusjonsmodstand der må indskydes på isoleringens varme side, hvis kondens skal undgås, fås af følgende ligning (jfr. fig. 4):

$$\frac{4,86 \div 4,1}{2300} = \frac{9,9 \div 4,86}{W_x + (50 + 70)} \quad W_x = 15.000 \frac{\text{m}^2 \text{hmmHg}}{\text{g}}$$

I det foregående har vi som nævnt forudsat, at betonen er tør.

Er der imidlertid tale om fugtig beton – og udtørringstiden for beton er lang – vil det reelle damptryk ikke følge det i fig. 4 angivne forløb, men snarere følge  $p_s$ -kurven. Dette gælder i hvert tilfælde i betonlagets midte, der vil tørre senest ud.

I dette tilfælde vil de i isoleringslaget kondenserede fugtmængder hovedsageligt skyldes byggefugten og kunne blive væsentlig større end den fugt, der stammer fra fugtigheden i rummene under konstruktionen.