

# Ventilation af flade tage

af civilingeniør Tommy Bunch-Nielsen, COWIconsult, og  
civilingeniør Georg Christensen, SBI

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

<sup>EX. 2</sup>  
30 DEC. 1992

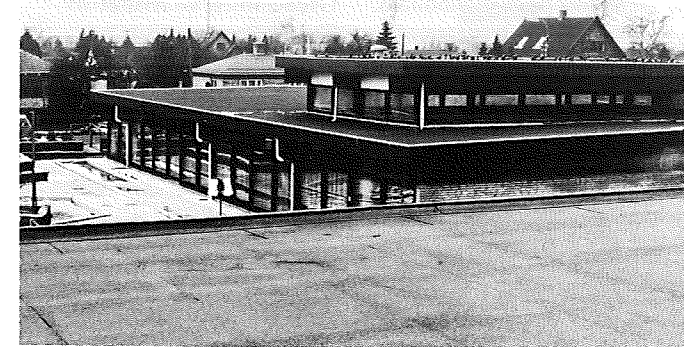
00 372P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

<sup>ex. 2</sup>  
13 AUG. 1984

# Ventilation af flade tage

I artiklen beskrives det væsentligste indhold i en teknologirådsrapport vedrørende ventilation af flade tage (1). Den grundlæggende problemstilling er gennemgået, og fugtmålinger fra en del forøgsprojekter er beskrevet. Resultaterne gav anledning til en række konklusioner vedrørende opbygning og ventilation af flade tage. Disse konklusioner er gengivet i artiklen.



## Indledning

Det er igennem de senere år erkendt, at ventilerede flade tage af træ med tagpapdækning på grund af et højt fugtindhold i tagpapunderlaget er udsatte for angreb af råd og svamp. Det er også erkendt, at årsagen hertil i første række er opstrømning af fugtig rumluft fra de underliggende rum. Det er imidlertid ikke blevet undersøgt, i hvilken udstrækning ventilation — eventuelt suppleret med taghætteventilation — vil forbedre eller eventuelt forværre de fugttechniske forhold i sådanne tage.

Der er derfor gennemført en større undersøgelse af forholdene i praksis, hvor ventilationen på forhånd er fastlagt, således at indflydelsen af forskellige parametre kan vurderes. Da resultaterne er af stor betydning for de danske firmaer, der producerer præfabrikerede tagkomponenter, er en væsentlig del af undersøgelsen blevet finansieret af Teknologirådet. Herudover har Energi ministeriet og SBI bidraget til projektets finansiering.

## Baggrund

Det har igennem mange år været god byggeteknisk praksis at ventilere tagkonstruktioner af træ med udeluft. Ventilationsåbningerne placeres normalt langs tagets kanter. Praksis er at åbningsrum til ventilation af tagrum skal svare til 1/500 af det bebyggede areal.

Den ændrede byggeskik i de seneste årtier har imidlertid medført, at ventilation langs tagkanter er svært gennemførlig eller umulig. Eksempler herpå er tagkomponenter, som spænder i forskellige retninger som f.eks. i hjørnet af vinkelhuse, eller når tagets areal er så stort, at det ikke er teknisk rimeligt at opnå et ventilationsareal på 1/500 langs tagkanterne. Derfor er fornøden ventilation søgt opnået igennem ventilationshætter anbragt i tagfladen. Det har — så vidt vides — ikke tidligere været undersøgt, i hvilken udstrækning sådanne nye ventilationsforanstaltninger i form af hætter ændrer på fugtforholdene i tagkonstruktionen, og heller ikke hvad de mange

samlinger imellem tagkomponenter, i modsætning til pudsede lofter, har betydet for luftstrømningsforholdene i ventilerede tage.

Det her beskrevne projekt har derfor haft til formål at vurdere betydningen af en række af de væsentligste faktorer, som bestemmer fugtforholdene og luftstrømningsforholdene i ventilerede flade tage.

De undersøgte forhold var især:

1. Ventilationsåbningernes udformning og areal
  - a. Ventilation langs tagkanter (sternventilation)
  - b. Ventilation med hætter
2. Betydning af fugtforhold i underliggende rum
3. Betydning af loftfladens lufttæthed.

Der er også gennemført en del undersøgelser af fugtforhold i ikke-ventilerede tage — såkaldte varme tage — med hætter for trykkudligning. I denne artikel er der dog i første række lagt vægt på at præsentere resultater fra undersøgelser af ventilerede tage af træ. I (1) vil der kunne findes en beskrivelse af en række undersøgelser af varme tage samt de opnåede resultater.

## Problemformulering

Fugt vil kunne transporteres fra underliggende rum til de kolde dele i en tagkonstruktion som følge af vanddampdiffusion og luftopstrømning (fugtkonvektion). Igennem mange år er der blevet lagt stor vægt på at forhindre vanddamptransport som følge af diffusion ved at anvende fugtspærre (dampspærre) med en høj dampdiffusionsmodstand, mens der ikke i samme grad er blevet lagt vægt på tætning mod luftopstrømning. På fig. 1a, 1b og 1c er vist tre situationer, som kan betragtes i forbindelse med bedømmelse af luftstrømning i et tag og de deraf følgende fugtforhold i et ventileret tag.

I fig. 1a er forudsat en *lufttæt* og rimelig diffusionstæt fugtspærre i loftet. En ventilation på 1/500 af tagarealet vil her efter

alle erfaringer være tilstrækkelig til at fjerne de mindre fugtmængder, som diffunderer op gennem fugtspærren. På figuren er også indtegnet de relative trykforhold i og omkring huset ved vindens påvirkning. Da loftet er forudsat lufttæt, vil en opstrømning af rumluft ikke kunne finde sted, selv om der er en trykforskel mellem taghulrum og underliggende lokale.

I fig. 1b er vist den samme situation, men med nogen utæthed i loftfladen. Det ses, at der på grund af trykforholdene vil være en tendens til, at rumluften i den læ del af huset strømmer op i taghulrummet og videre ud til det fri. Når tagfladen er kold, vil rumluftens fugtindhold kunne afsættes på tagpapunderlaget (krydsfiner, spånplade, træ) og give anledning til skadelig fugtophobning.

I fig. 1c er anbragt ventilationshætter for at ventilere et taghulrum, som ikke kan ventileres fra stern til stern. På grund af vindtrykforholdene ses det, at der vil opstå en trykdifferens over loftfladen. Hvis loftfladen — fugtspærren — ikke er lufttæt, vil hætterne fungere som »aftrækshætter« og vil derfor kunne

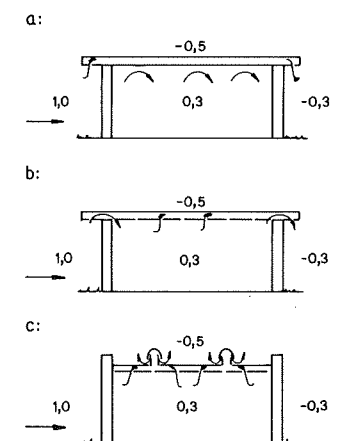


Fig. 1: Tallene på figurerne viser de relative trykforhold, som opstår på grund af vinden, i og omkring et hus med fladt tag. a) viser ventilation af tagrummet, når loftet er tæt, b) viser hvorledes rumluft kan strømme op i tagrummet, når loftet er utæt, og c) viser hvorledes rumluften kan strømme ud gennem hætterne, når der ikke er en lufttæt fugtspærre i taget.

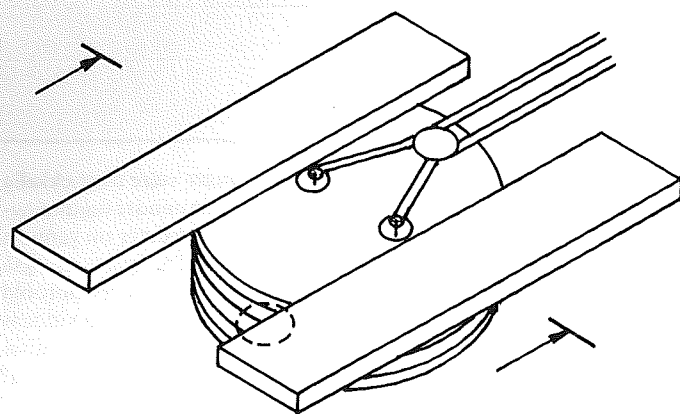
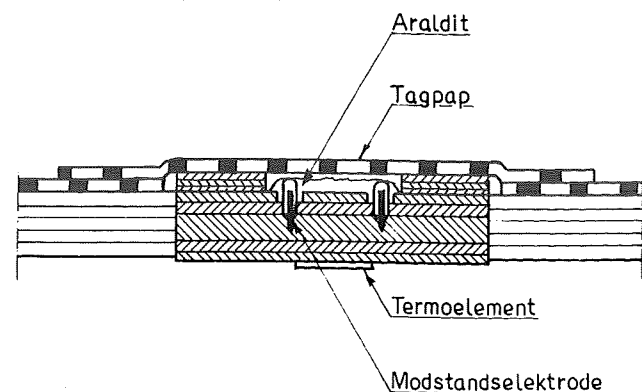


Fig. 2: SBI-fugtmålerondel. Øverst i isometri og nederst i snit som rondellen indbygges i taget. Elektroderne, der er isoleret undtagen i spidsen, måler den elektriske modstand i det midterste lag krydsfiner. Termoelementet anvendes til at korrigere modstandsmålingen for temperaturen.



trække store mængder rumluft op til taghulrummet. I fig. 1b og 1c vil den naturlige »skorstensvirkning« i et hus under vinterforhold iøvrigt forstærke luftopstrømningen.

De gennemførte undersøgelser har haft til formål at vurdere fugtforholdene i tagkonstruktioner, som kan henføres til et af de tre her formulerede typiske tilfælde. Undertiden er der naturligvis også forekommet variationer af disse grundtyper.

**Fugtmåleteknik**

I alle de undersøgte tage er fugtindholdet i tagenes kolde dele (øverste del) blevet holdt under observation igennem een eller flere vintre ved hjælp af de såkaldte SBI-fugtmålerondeller. Disse blev udviklet i forbindelse med en tidligere gennemført undersøgelse af fugtforholdene i tagene i Albertslund gårdhavehuse og er beskrevet i (2) samt i (3).

Måleprincippet udnytter, at der er en rimelig entydig sammenhæng mellem træets fugtindhold og elektriske ledningsevne. I

en krydsfinerskive med en diameter på 50 mm indbygges to elektroder (se fig. 2), hvorimellem ledningsevnen kan måles. Den elektriske ledningsevne — eller rettere den elektriske modstand — måles med et digitalt måleinstrument. Sammenhæng mellem den elektriske modstand og træfugtindholdet er vist på fig. 3. Det ses her, hvorledes den elektriske modstandsevne i nogen grad er temperaturafhængig, hvorfor der til nøjagtige målinger må foretages en temperaturkorrektur. En nærmere omtale findes i (3). Ved alle de gennemførte undersøgelser er målerondellerne indbygget i tagfladen lige under tagpappen, og ledninger er trukket ud til steder, hvor der på en let måde kan gennemføres målinger.

Erfaringerne viser, at der normalt er en god målenøjagtighed og reproducerbarhed, men at følgende forhold kan give anledning til forkerte målinger:

1. Stærk frost, udetemperaturen mindre end  $-5^{\circ}\text{C}$ .
2. Stor fugtighed i udeluften kan give krybestrømme på

ledninger. Derfor bør der ikke måles i meget fugtigt og tåget vejr.

3. Stærkt solskin vil, når målerondellen ligger lige under tagpappen, bevirke en temperaturgradient igennem målerondellen, hvorved også fugtindholdet i rondellen (og iøvrigt også i tagfladen) vil være ujævnt fordelt. Derfor bør der ikke måles i stærkt solskin.

4. Når fugtindholdet når op over 30%, vil der ske en kortslutning, og en egentlig aflæsning er usikker. Derfor sættes fugtindhold på mere end 30% altid til 30%.

Erfaringerne igennem adskillige år viser, at de fugtindhold som måles i fugtmålerondellerne, ligger meget nær på de fugtindhold, som findes i tagflader af træ eller krydsfiner, og som kan bestemmes ved den traditionelle vej/tørre metode.

Kriterier for om fugtindholdet i træ er for højt er tidligere beskrevet i (3), og det skal her blot påpeges, at der for træ, der ikke tidligere har været angrebet af råd og svamp, kan regnes med, at et fugtindhold på mindre end 20 vægtprocent skulle give sikkerhed imod svampeangreb. Hvis træet i forvejen har været angrebet af mikroorganismer, bør der regnes med en grænse på 15 vægtprocent i træet. Ved temperaturer på under  $5^{\circ}\text{C}$  vil svampevækst ikke kunne finde sted, da disse temperaturer ikke giver svampe de fornødne livsbetingelser. Også ved den videre omtale af fugtindholdet i træ vil der altid være tale om vægtprocent.

**Gennemførte undersøgelser**

*Tag over svømmehal*

Et ca. 10 år gammelt tag over en svømmehal var opbygget af trækassetter med en overflange

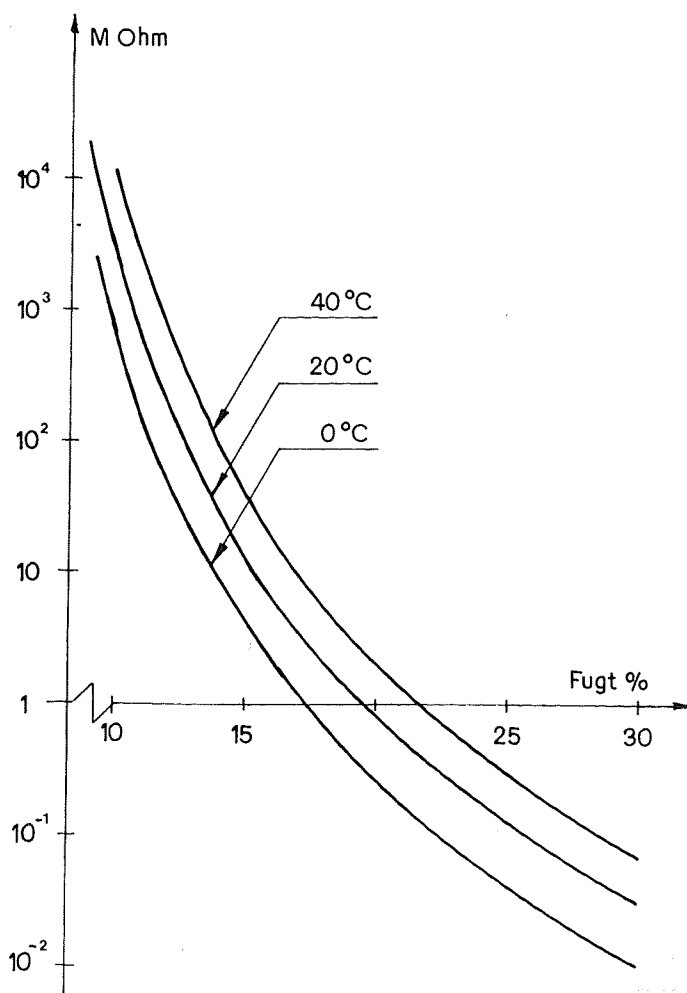


Fig. 3: Kurverne viser sammenhængen mellem elektrisk modstand og fugtindhold i målerondellen. Modstanden er svagt temperaturafhængig, hvilket der må korrigeres for.

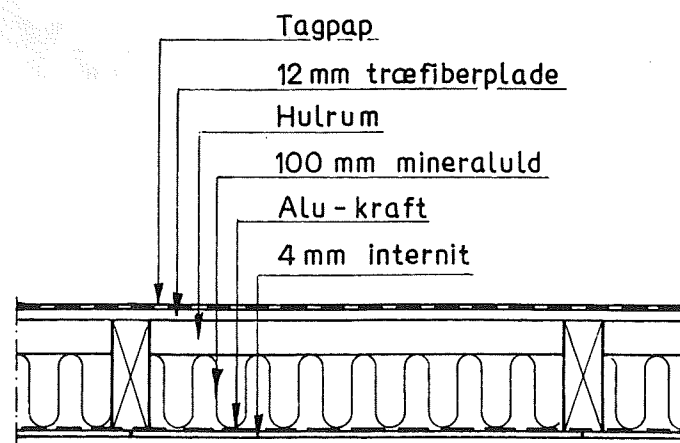


Fig. 4: Opbygning af den oprindelige tagkonstruktion på den undersøgte svømmehal.

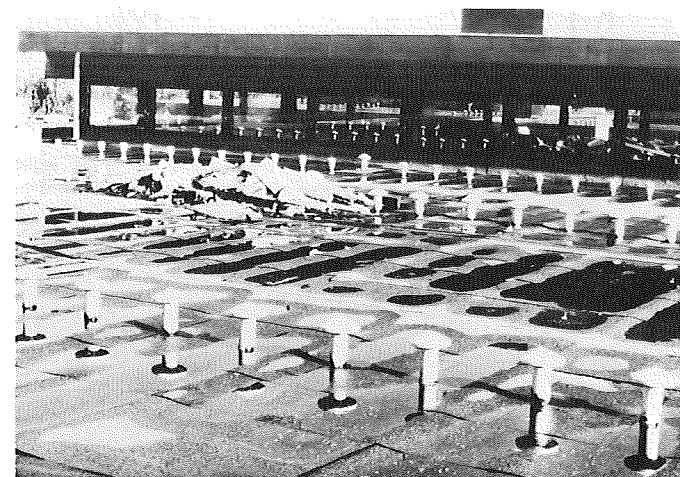


Fig. 5: Billedet viser det store antal hætter af forskellig type, som efterhånden var anbragt på tagfladen til »forbedring« af ventilationsforholdene i tagkonstruktionen på svømmehallen.

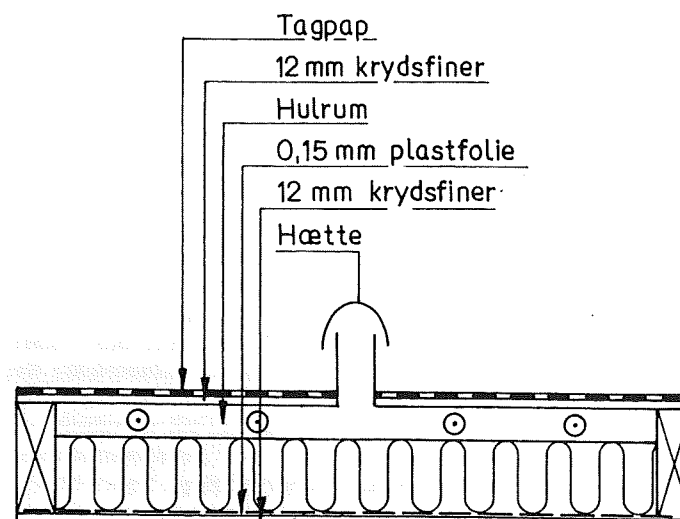


Fig. 6: Opbygning af tagkassetter over forsøgstag. Hulrummet over isoleringen er enten lukket eller ventileret igennem tagkant og/eller hætter.

af halvharde træfiberplader og mineraluldisolering imellem ribberne. En fugtspærre af aluminiumfolie og en asbest-celluloseplade udgjorde undersiden. Se fig. 4. Der havde igennem længere tid været fugtproblemer med taget, og der var for at afhjælpe disse sat hætter flere steder i tagfladen med det resultat, at fugtproblemerne blev forværret. På fig. 5 fås et indtryk af det store antal hætter, som efterhånden var anbragt i tagfladen.

I forbindelse med en nødvendig udskiftning af taget stillede kommunen velvilligt et tagareal til rådighed for forsøg med forskellige typer ventilation af tagkomponenter. Der er tale om en tagflade på ca. 150 m<sup>2</sup>, som blev inddelt i syv forskellige forsøgsområder. I den underliggende svømmehal var temperaturen på  $26-28^{\circ}\text{C}$ , og den relative luftfugtighed var på 50%. Ved lavere udetemperaturer end  $-10^{\circ}\text{C}$  nedsættes luftfugtigheden dog til 40% RF. De undersøgte tagkomponenter er i princippet opbygget som vist på fig. 6. Udformningen af ventilation varieres i de forskellige tagkomponenter, og fugtindholdet måles i den øverste flange i de punkter, som er vist på fig. 7. Hvert forsøgsområde, som bestod af to eller fire tagkomponenter, kan beskrives på følgende måde:

**Område 1:** Betegnes som »referenceområde«, idet den oprindelige »stern til stern« ventilation på ca. 1/500 er bibeholdt

**Område 2:** Som område 1 men med helt lukket ventilation ved stern

**Område 3:** 0-energielementer (d.v.s. sandwichkomponenter med kantstillet mineraluld imellem krydsfinerflanger), ingen ventilation. (Anden principopbygning end på fig. 6).

**Område 4:** Som område 1 men suppleret med 2 hætter midt på tagfladen.

**Område 5:** Stern-stern ventilation er lukket, og der er etableret hætter i kanten og på midten af tagfladen

**Område 6:** Stern-stern ventilation er lukket, og der er etableret mekanisk overtryksventilation af hulrummet ved hjælp af en ventilator.

**Område 7:** Stern-stern ventilation er lukket, og der er lagt stor vægt på at opnå lufttæthed på kassetens underside ved hjælp af udkragede flanger på krydsfinerplader. Samlinger blev tapet oppefra.

**Resultater**

I områderne 1, 2, 4 og 5 blev der i en meget stor del af vinterhalvåret målt fugtindhold i tagkrydsfineren på mere end 30%. Udtørringen starter først i maj-juni, hvilket medfører at der findes en meget lang periode, hvor  $t > 5^{\circ}\text{C}$  samtidig med, at fugtindholdet i overflangen er større end 20%, hvilket indebærer en stor risiko for svampeangreb. Kun i område 4, hvor der anvendes stern-stern ventilation suppleret med hættest ventilation, sker der en fuldstændig udtørring til 10% i løbet af sommeren.

Træsamlingerne mellem 0-energielementerne i område 3 opfugtes til mellem 25 og 30%, hvilket skyldes en u hensigtsmæssig samling. Der blev derfor på et senere tidspunkt etableret en mekanisk udtørring af fugerne, og tætning mod rumluft blev forbedret. Det viste sig imidlertid, at tætheden imod nabokomponenter var for ringe, således at fugtig rumluft efter udtørringens ophør hurtigt kunne trænge ind og igen opfugte komponenterne.

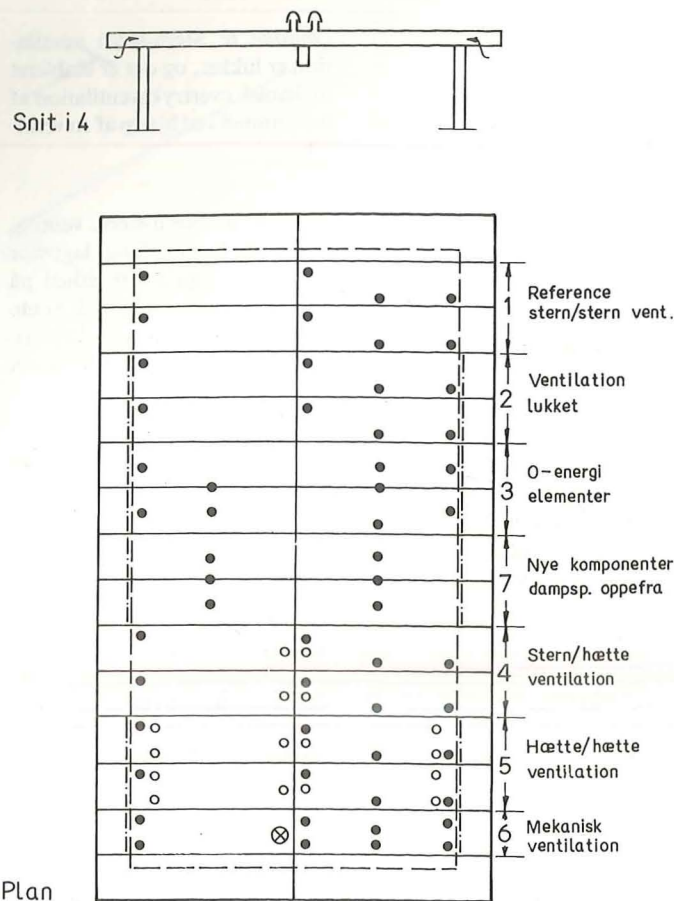
I område 6 viste det sig, at overtryksventilation kan holde fugtindholdet i træet tilstrækkeligt lavt. Der har dog vist sig vanskeligheder med at få en kontinuerligt drift af ventilatoren. Selv få dages stop af den mekaniske overtryksventilation gav anledning til en kraftig opfugtning.

I område 7 blev der igennem vinteren konstateret et langsomt stigende fugtindhold til trods for, at der er tilstræbt udført en meget effektiv fugtspærre. Først i juni-juli måned når fugtindholdet ned omkring 10-15%.

**Vurdering**

Hverken naturlig ventilation gennem tagkanter (stern/stern





- Signaturer:
- Målepunkt, fugtføler indbygget
  - Tagventilationshætte
  - ⊗ Ventilator
  - Ventilation lukket i stern

Fig. 7: Plan over forsøgstaget på svømmehallen.

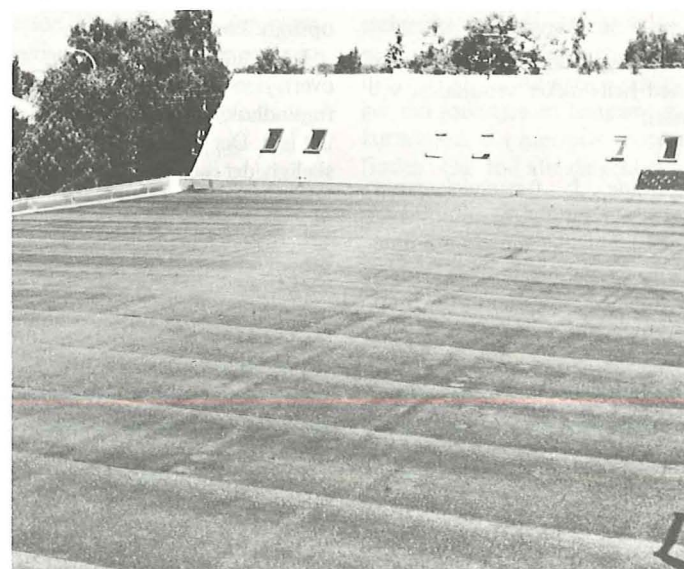


Fig. 9: Efter renovering er forsøgstaget på svømmehallen ændret til et varmt tag, og alle gennembrydninger og hætter er fjernet.

ventilation) eller hætter på tagfladen er i stand til at holde fugtindholdet i den øvre del i et »koldt tag« tilstrækkelig lavt, når der i det underliggende rum findes en fugtbelastning som i en svømmehal. Trods ihærdige anstrengelser viste det sig ikke muligt at lave en tilstrækkelig tæt dampspærre i en traditionel kassetekonstruktion med blød mineraluld mellem ribberne. Det må derfor frarådes at anvende et ventileret tag (koldt tag) over svømmehaller og bygninger med lignende fugtbelastninger. I stedet bør der anvendes et varmt tag.

Det kan nævnes, at der ved renoveringen af svømmehalstaget blev anvendt et nyt varmt tag (som vist på fig. 8 og fig. 9). Se-

ner målinger i krydsfinerpladen under den øverste isolering viser fuldt tilfredsstillende fugtforhold. Vedrørende den fugttechniske beregning af forholdet mellem isolansen af de to lag isolering i et sådant varmt tag henvises der til (3).

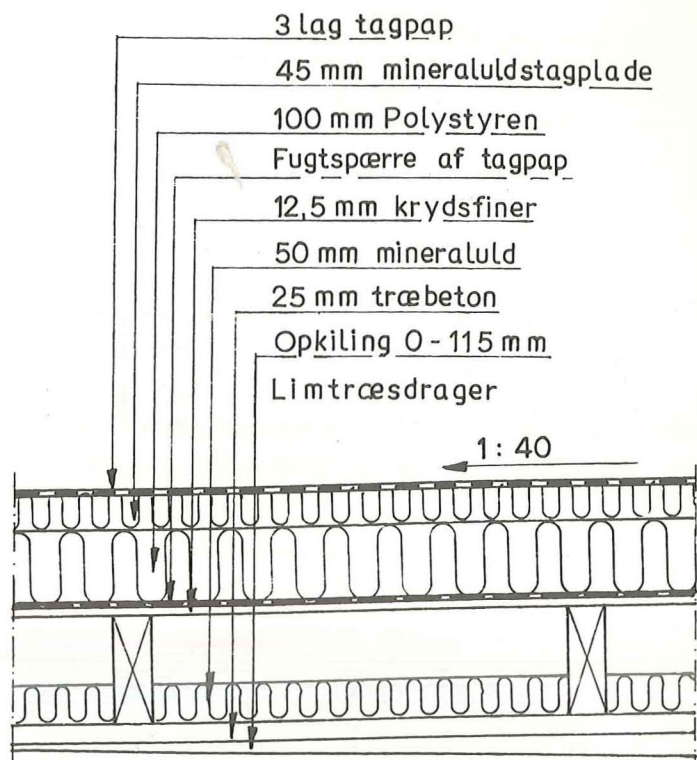


Fig. 8: Snit i den nye tagkonstruktion over svømmehallen efter renovering. Taget er opbygget som et varmt tag med hovedparten af isoleringen over fugtspærren.

# Ventilation af flade tage

I »Byggeindustrien« nr. 5, 1984, blev der i denne artikels første del gennemgået en del generelle problemer vedrørende fugt og fugtmåling i flade tage, og der blev præsenteret resultater af fugtmålinger i et tag over en svømmehal. I denne del af artiklen præsenteres resultater af fugtmålinger i tage med forskellige former for hætteventilation. Der afsluttes med et forslag til fastsættelse af rumklimaklasser, som kan benyttes ved valg af tagkonstruktioner og fugtspærre ud fra fugttechniske synspunkter.



## Tag over kantinebygning

Et tag over en kantinebygning er opbygget som vist på fig. 10. Der er tale om traditionelle tagkassetter, der som udgangspunkt i dette forsøg er helt lukkede. Der er således ikke ventilation langs tagkanter. Tagkassetterne har en dimension på 1,8 m x 1,8 m og oplægges på et rumgitter af stål. Tagkomponenterne samles indbyrdes ved hjælp af en løser, som lægges i en not i hver komponent og suppleres med en plastfolieomviklet mineraluldstrimmel. Tagkassetterne understøttes i hjørnerne på rumgitterets knudepunkter på en plade, gennem hvilken der går en bolt, som fastholder fire sammenstødende komponenter.

Ved forsøget søgtes det vurderet, hvilken indflydelse forskellige former for hætteventilation og simpel trykudligning enten over

tag eller mod underliggende rum har på fugtophobning i tagkomponenternes øverste krydsfinerflange. Rumklimaet i det underliggende lokale blev i vinterperioden målt til ca. 20-25°C og 40-60% RF. Taget, der har en dimension på 20 m x 20 m blev opdelt i 5 af hinanden uafhængige forsøgsområder som vist på fig. 11. Områderne kan karakteriseres på følgende måde:

**Område 1:** I den øverste del af ribberne og kantlæggerne i kassetterne findes spalter, således at hulrummet over isoleringen er sammenhængende i hele området. Ribber og kantlægger imod de andre områder har ingen spalter. Området er ventileret med én hætte i hveranden kassette svarende til 4,6 cm<sup>2</sup> pr. 180 cm x 360 cm.

**Område 2:** Svarer til område 1, idet hætteventilation dog er reduceret til et areal på 1,2 cm<sup>2</sup> pr. 180 cm x 360 cm.

**Område 3:** Som område 1. Ventilation er i forhold til område 2 yderligere reduceret til én hætte med et areal på 3,0 cm<sup>2</sup> pr. 9,0 m x 12,60 m. Denne beskedne ventilation gennem overflangen må snarere betragtes som en trykudligning.

**Område 4:** Der er her ingen indbyrdes forbindelse imellem hulrummene i de forskellige kassetter på 1,8 m x 1,8 m. Der er ingen hætter på tagfladen, men der er trykudligning i form af et boret hul på 1,2 cm<sup>2</sup> i underflangen imod det underliggende rum i hver kassette.

**Område 5:** Svarer til område 4, men trykudligning sker gennem en hætte i overflangen med et areal på 1,2 cm<sup>2</sup> i hver kassette.

**Område 1:** Ventilation øges kraftigt, idet der i hveranden kassette langs kanten af området yderligere anbringes en stor ventilationshætte med et åbningsareal på 10 cm x 10 cm.

**Område 2:** Den reducerede hætteventilation lukkes helt.

**Område 3:** En del af taget afdækkes med en nyudviklet specialpap, som ved hjælp af nogle fiberstritter på pappens underside hæver pappen lidt over tagfladen. Der skulle hermed være opnået en forøget isoleringsevne, som kunne tænkes at medvirke til at holde fugtindholdet i overflangen nede.

**Område 4:** Ingen ændringer.

**Område 5:** Alle trykudligningshætter lukkes.

## Resultater

a. Første måleperiode 1979-81  
Områderne 1, 2 og 3 opfugtes nogenlunde ens. Opfugtningen starter i oktober måned og fortsætter til april, hvor fugtindholdet i de fleste målepunkter når over 30%. Herefter starter udtørringen, og midt på sommeren er alle områder udtørret til ca. 15% fugtindhold. I område 4 sker opfugtningen langsommere og når

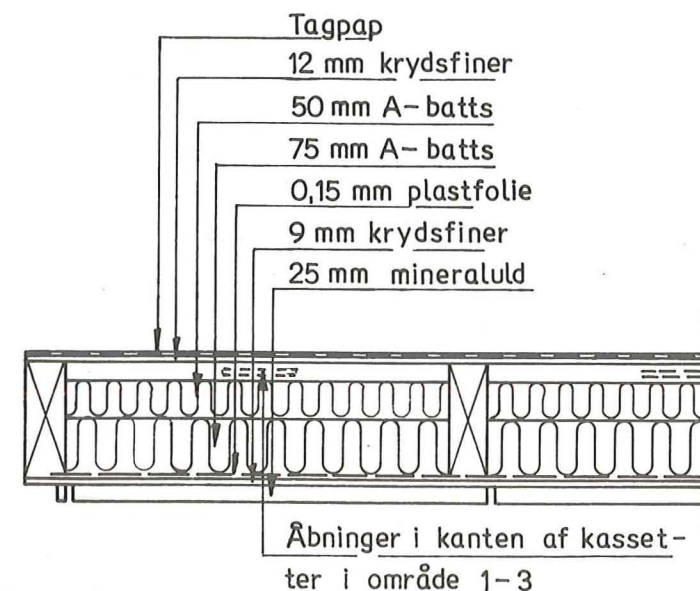
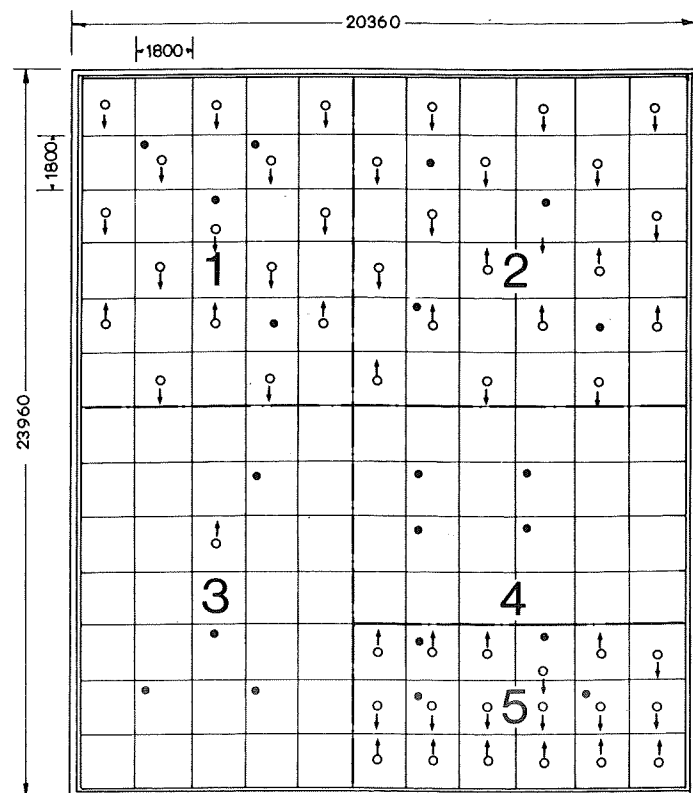


Fig. 10: Plan af forsøgstag over kantinebygning i perioden 1979-1981.





Signaturer:

- Icovent hætte type A (pil angiver åbningens retning)
- Målepunkt, fugtføler indbygget
- Adskillelse af måleafsniit (fugtelukning i fuld højde)

Fig. 11: Figuren viser opbygning af forsøgstag over kantinebygning.

kun op på ca. 25%. Udtørringen sker også lidt langsommere, og når sit minimum på ca. 15% midt på sommeren. I område 5 svarer opfugtningen nogenlunde til opfugtningen i område 1-3, men forløber noget hurtigere. Det maksimale fugtindhold er 25-30%, og når i april måned et maksimum på op mod 30%.

b. Anden måleperiode 1981-83

I område 1 har den forøgede ventilation ikke ændret fugtforholdene væsentligt, og som før når fugtindholdet op over 30%. I område 2 har lukning af den i forvejen reducerede ventilation ikke ændret opfugtningsforholdene, idet fugtindholdet igen når op på 30%. I område 3 har den nyudviklede pap med et luftspaltetannende lag heller ikke haft nogen effekt på opfugtningen. I område 4, hvor der ikke skete ændringer af ventilationsforholdene, viste målingerne, at opfugtningen var lidt mindre end i de foregående vintre. I område 5 viste lukning af trykdugningen sig at have en god effekt, idet opfugtningen holdt sig under 18%.

De her angivne oplysninger stammer fra omfattende observationer i vinteren 1981/82, men en tilsvarende undersøgelse — dog med færre observationer — i foråret 1983 viste, at vinteren 1982/83 gav helt tilsvarende resultater.

Vurdering

Områderne 1, 2 og 3, som alle er opbygget af kassetter med åben forbindelse til nabokassetterne, opfugtes til 30% om vinteren uanset ventilationsgraden. Der sker tilsyneladende en opstrømning af rumluft i samlingerne mellem kassetterne og ind i disse. Rumluften når at afgive en del af sit fugtindhold, inden den strømmer ud gennem ventilationshætterne.

I område 2 blev hætterne i anden periode lukket, således at den ovenfor nævnte gennemstrømning ikke kunne optræde. Når der alligevel sker en opfugtning, antages det, at der sker en intern strømning gennem kassetterne, idet luften strømmer ind gennem en samling imellem komponenterne et sted i samlin-

gerne og ud gennem andre som følge af trykforskelle under loftet. Sådant strømning benævnes intern konvektion og vil også kunne medføre, at fugt fra rumluften aflejes i de kolde trædele.

I områderne 4 og 5, hvor hver kassette er en lukket enhed, er opfugtningen betydelig mindre end i områderne 1, 2 og 3. Når trykdugningen over tag i område 5 lukkes, formindskes opfugtningen yderligere. Dette skyldes formentlig det mindre drivtryk, som findes over fugtspærren, når hætterne lukkes, idet undertrykket på tagets overside nu ikke mere kan forplante sig til taghulrummet.

De her gennemførte undersøgelser har vist, at hætteventilation ikke har nogen gunstig virkning på fugtforholdene i taget. I lukkede kassetter, hvor luftindstrømningsmulighederne er stærkt begrænsede, sker der kun en meget begrænset fugtophobning om vinteren.

Det kan afslutningsvis bemærkes, at det ved hjælp af røgprøver blev undersøgt, hvor utæthederne i loftkonstruktionen forekom. Det viste sig, at røg, som fra oven blev pustet ned i samlingerne, trængte ud, hvor fire tagkomponenter samles i et hjørne. En udskumning af hjørnesamlingerne med polyurethanskum viste sig ikke at have nogen mærkbar effekt.

Andre undersøgelser

I (1) er beskrevet andre lignende undersøgelser, der blev gennemført på yderligere en lang række flade tage. Også i disse andre undersøgelser blev målinger gennemført med SBI-fugtmålerondeller igennem længere perioder. Der er tale om så forskellige bygningstyper som et rådhus, flere typer gårdhuse, en etageblok samt et større antal enfamiliehuse. Herunder blev det også undersøgt, i hvilket omfang udvendig merisolering ville være i stand til at afhjælpe allerede bestående fugtproblemer. Disse undersøgelser af merisolerede konstruktioner bekræftede tidligere konklusioner, som er publiceret i (4). Det generelle billede er, at hætter ikke forbedrer de fugttechniske forhold. Almindelig stjernstern ventilation på 1/500 synes at fungere tilfredsstillende for enfamiliehuse med almindelig husdybde og fugtbelastning, når der

er en rimelig lufttæt loftkonstruktion. Det fandtes også, at der i varme tage — her betonelementer med polystyrenisolering og pap — er risiko for fugtproblemer, hvis gennemføring af ovenlys og samlinger mellem komponenter ikke er lufttætte.

Trykmålinger i tage

Samtidig med de her beskrevne undersøgelser gennemførte SBI et projekt med titlen »Trykforhold i flade tagkonstruktioner«. Dette projekt tog sigte på ved målinger i praksis at konstatere størrelsen af de trykforskelle, der er imellem hulrummet i en ventileret tagkonstruktion og det underliggende rum. Målingerne blev gennemført ved hjælp af meget fintfølede tryktransducere tilsluttet en datalogger. Målingerne fandt sted i forsøgstagene over den tidligere omtalte svømmehal og er rapporteret i detaljer i SBI-rapport 153 »Trykforhold i flade tage« (5). Målingerne viste, at der igennem lange perioder om vinteren af vinden skabes et undertryk i det ventilerede hulrum på 5-10 Pa i forhold til trykket i det underliggende rum. Dette medfører, at betydelige luftmængder vil kunne strømme op i taghulrummet igennem utætheder i loftkonstruktionen. Det blev også målt, at der med en ventilator kunne opretholdes et beskedent overtryk på 0-50 Pa i et taghulrum, hvilket her var tilstrækkeligt til at sikre imod luftopstrømning nedefra. Erfaringerne fra svømmehallens drift viste dog også, at ventilatoren jævnlige gik i stå, f.eks. ved strømafbrydelse, og at den på grund af de gældende sikkerhedsforskrifter ikke automatisk gik igang igen. For med sikkerhed at kunne stole på en sådan teknisk løsning er det derfor helt nødvendigt med en omhyggelig overvågning af anlæggets drift.

Konklusioner

Varme tage — kolde tage

Undersøgelserne har vist, at den væsentligste faktor for den fugttechniske funktion af et fladt tag er fugtspærrens evne til at forhindre opstrømning af fugtig luft fra underliggende rum.

For kolde tage er det i de fleste tilfælde ikke muligt at løse fugttechniske problemer med en forøget ventilation af taghulrummet, og hætteventilation vil kun

forøge de fugttechniske problemer.

For varme tage har det tilsvarende vist sig, at forøget lufttilgang til isoleringen (trykdugning) ikke kan løse fugttechniske problemer. Hvis den forøgede lufttilgang skabes med ventilationshætter, kan det som for de kolde tage øge de fugttechniske problemer.

Undersøgelsen har vist, at der er et betydeligt antal faktorer, som har indflydelse på fugtforholdene i flade tage. Sådanne faktorer er:

- lufttæthed af fugtspærren (specielt ved samlinger, tilslutninger og gennemføringer),
- fugtspærre type (aluminiumsfolier kan nedbrydes i et basisk miljø)
- rumklima
- rumventilation (overtryksventilation i underliggende rum forværrer fugtforholdene)
- ventilationsform for taget (stern- eller hætteventilation)
- ventilationsgrad for taget (størrelse af åbninger)
- mulighed for luftgennemstrømning i det ventilerede hulrum
- sol/skygge forhold på taget (skygge forringer udtørringsforholdene)
- vindforhold (tagform, stjernkanter, omgivelser etc.)

Den primære faktor med hensyn til tagets fugttechniske funktion er dog fugtspærrens lufttæthed i samlinger, tilslutninger og gennemføringer. Virkningen af en defekt fugtspærre kan ikke opvejes af forøget ventilation.

Ved udførelse af kolde tage må konstruktionen udformes således, at det er muligt i praksis at udføre tætte samlinger, tilslutninger og gennemføringer i fugtspærren. Der bør lægges mere vægt på at anvende en fugtspærre, som kan udføres lufttæt, end på at anvende en fugtspærre med en stor diffusionsmodstand. Lufttæthed kan iøvrigt ofte opnås ved anvendelse af et tæt plademateriale med tætte tapede samlinger. I varme tage er det muligt at etablere en effektiv fungerende fugtspærre, idet denne kan udføres »oppefra«, og dermed kan kontrolleres for tæthed ved gennemføringer og samlinger, inden der ovenpå udlægges isolering og tagdækning.

Rumklima

Fugttilskuddet til et tag vil afhænge af rumklimaet i de underliggende rum, og dette kan variere meget bl.a. afhængig af rummets anvendelse og den anvendte form for ventilation. Især vil overtryksventilation i et lokale med højt fugtindhold naturligvis være en voldsom påvirkning.

Rumklimaklasser

Den fugttechniske belastning på en tagkonstruktion kan vurderes ud fra fugtforholdene i de underliggende rum. Undersøgelserne har vist, at det vil være hensigtsmæssigt at fastlægge fugtbelastningen ud fra rumluftens vanddampindhold:

a. Rumklimaklasse 1

Rumluftens vanddampindhold er i opvarmningsperioden mindre end 5 g/m<sup>3</sup>, hvilket medfører, at luftens dugpunkt er mindre end 0°C.

Tørre lokaler som f.eks. følgende henføres til rumklimaklasse 1:

- produktionslokaler uden vanddampproduktion
- lagerlokaler
- træningshaller (uden tilskuelere).

b. Rumklimaklasse 2

Rumluftens vanddampindhold er i opvarmningsperioden

mindre end 10 g/m<sup>3</sup>, hvilket medfører, at luftens dugpunkt er mindre end 11°C.

Almindeligt ventilerede lokaler uden væsentlig produktion af vanddamp fra processer eller fri vandoverflader som f.eks. følgende, henføres til rumklimaklasse 2:

- skoler
- boliger
- kontorer
- butikslokaler
- institutioner
- idrætshaller (med tilskuere)

c. Rumklimaklasse 3

Rumluftens vanddampindhold ligger i opvarmningsperioden over 10 g/m<sup>3</sup>, hvilket medfører, at luftens dugpunkt er over 11°C.

Rum, i hvilke der sker en betydelig produktion af vanddamp som f.eks. følgende, henføres til rumklimaklasse 3:

- svømmehaller
- vaskerier
- baderum
- fugtig industri.

De tre rumklimaklasser er illustreret på vanddampdiagrammet på fig. 12.

Det bør bemærkes, at ovenstående klassificering af bestemte rumtyper kun er til orientering, og det må i hvert enkelt tilfælde

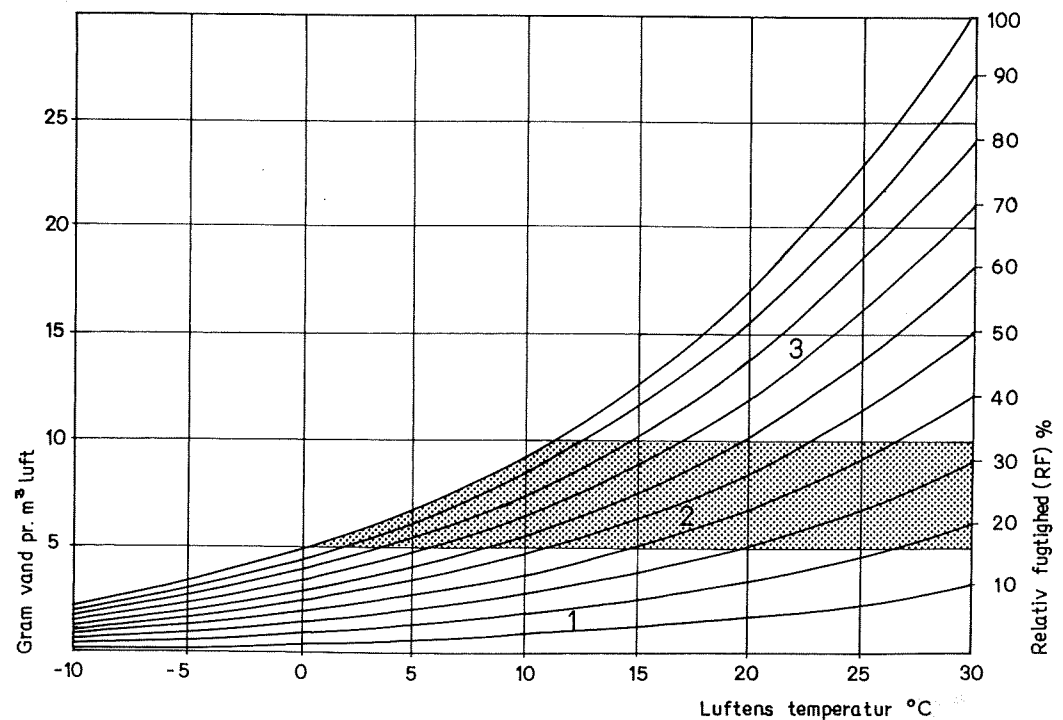
vurderes, hvilken rumklimaklasse en bygning tilhører. Særligt for boliger varierer rumklimaforholdene meget, f.eks. kan mangelfuld udluftning eller en meget tæt klimaskærm bringe disse op i rumklimaklasse 3.

Ventilationsudformning

Den bedste form for ventilation af tage er stjernsternventilation, idet dette giver en luftstrømning i taghulrummet, uden at der her opstår et væsentligt undertryk, som ville kunne suges rumluft op i taget. Ventilation med hætter på flade tage vil give et næsten konstant undertryk i taghulrummet, idet vindpåvirkningen medfører undertryk over det flade tag, og må derfor undgås.

I Bygningsreglementet omtales, at et ventilationsareal på 1/500 af tagfladen må anses at give tilfredsstillende fugtforhold i tagkonstruktionen. Undersøgelserne har vist, at dette forudsætter, at udeluften har direkte og uhindret strømningsmulighed fra stjern til stjern.

Denne form for ventilation forudsætter et frit hulrum over isoleringen på mindst 45-50 mm. Det har vist sig vanskeligt i praksis at opnå en sådan uhindret ventilation i hjørnet af vinkelhuse, og når taghulrummet genbrydes af f.eks. ovenlys.



Rumklimaklasser

Fig. 12: Inndeling i rumklimaklasser til vurdering af fugtbelastningen på tagkonstruktioner.

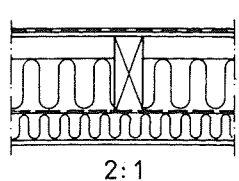
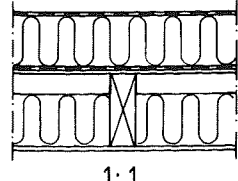
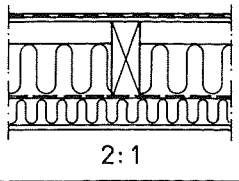
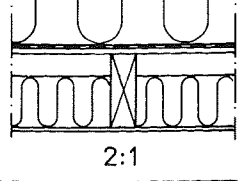
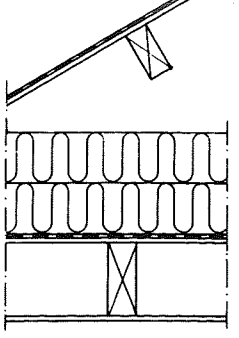
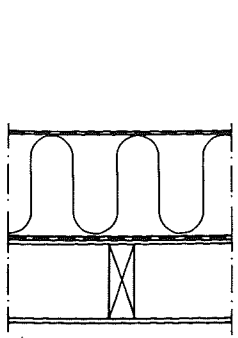
Rum-klima-klasse	Kolde (ventilerede) konstruktioner	Varme (ikke ventilerede) konstruktioner
1	 2:1	 1:1
2	Pas på!  2:1	 2:1
3		 Helt varmt

Fig. 13: Oversigtskema til valg af tagkonstruktion og vurdering af forholdet mellem varmeisolering over og under fugtspærren i afhængighed af rumklimaklasse.

**Andre forhold**

Tagflader, der ligger konstant i skygge, har vanskeligt ved at tørre ud om sommeren, og yderligere agtpågivenhed med hensyn til udførelsen er derfor nødvendig. Da ventilationsforholdene er afhængige af vinden, vil effektiviteten af ventilation afhænge af bygningens placering i forhold til bl.a. nabohuse, beplantning samt bygningens geometri.

**Anvendelsesområder**

På basis af målinger og undersøgelser i nærværende projekt, samt det tidligere gennemførte teknologirådsprojekt »Merisolering af flade tage«, kan der som skematisk vist på fig. 13 opstilles følgende begrænsninger for anvendelsen af varme og kolde tage.

**Varme tage** kan anvendes i alle rumklimaklasser. Det må i rumklimaklasse 2 og 3 påses, at fugtspærren udføres lufttæt og med en rimelig diffusionsmodstand.

Fugtspærren anbringes normalt på isoleringens varme side, men i rumklimaklasse 1 kan fugtspærren eventuelt anbringes således, at op til halvdelen af isolansen findes på den varme side af fugtspærren. I rumklimaklasse 2 kan fugtspærren eventuelt anbringes således, at højst 1/3 af isolansen findes på den varme side af fugtspærren. I rumklimaklasse 3 bør hele isoleringen normalt anbringes på fugtspærrens kolde side. Men gennemføres en fugt-teknisk beregning som beskrevet i (3), kan en mindre del af isoleringen muligvis anbringes på den varme side af fugtspærren.

**Kolde tage** vil altid kunne anvendes i rumklimaklasse 1. I rumklimaklasse 2 kan kolde tage kun anvendes, hvis der udføres en fugtspærre, som er lufttæt ved alle samlinger og tilslutninger. Ventilationsarealet kan sættes til 1/500 af det bebyggede areal og bør etableres fra tagkant til tagkant (stern-stern ventilation). Ventilation med hætter bør undgås. Tagflader, der er så store, at de ikke kan ventileres fra tagkant til tagkant, bør udformes som varme tage. Kolde tage bør ikke anvendes i rumklimaklasse 3, med mindre fugtspærren består af en tagpap klæbet til et plant underlag (f.eks. krydsfiner), og samlingernes lufttæthed er undersøgt ved f.eks. en vandtæthedsprøve.

For kolde tage forudsættes, at fugtspærren (det lufttætte lag) anbringes på isoleringens varme side. Fugtspærren kan eventuelt i rumklimaklasse 1 og 2 anbringes således, at op til 1/3 af isolansen findes på den varme side af fugtspærren.

**Trykudligning i varme tage**

Der er i projektet gennemført en række fugtmålinger på varme tage med og uden trykudligning af isoleringen. Trykudligningen har i alle tilfælde været udført med hætter.

Det må på basis heraf konkluderes, at lufttilgangen gennem hætter ikke kan løse de fugt-tekniske problemer i varme tage med defekt eller manglende fugtspærre. Er der utætheder i fugtspærren, hvor rumluften kan trænge op i tagopbygningen, vil det undertryk, hætterne skaber, kunne øge opfugtningen af de øvre dele af det varme tag.

Ved opbygning af varme tage er der risiko for, at der indbygges en del byggefugt i isoleringslaget. Det må derfor påses, at eventuel byggefugt kan slippe ud gennem trykudligningspalter ved tagets kanter.

Ved store tagflader kan der dog være behov for trykudligningshætter svarende til 1 hætte pr. 3-500 m<sup>2</sup>, afhængig af tagets udformning.

**Hætter**

Det vil altid være betænkeligt at anvende hætter i tagflader, fordi både vind og den termiske opdrift vil søge at trække rumluft

op i tagkonstruktionen. Dette gælder både ventilationshætter og trykudligningshætter.

Hætter, der er monteret parvis, således at der ved vindens påvirkning opstår overtryk i den ene og undertryk i den anden hætte, vil kunne skabe en vis luftstrømning igennem taghulrummet, men der vil fortsat være et undertryk i taghulrummet i forhold til det underliggende rum. Dette vil kunne give anledning til fugtopstrømning.

Hætteventilation af flade tages hulrum kan således meget let blive skadelig, med mindre der findes en lufttæt fugtspærre i taget.

De her fremførte konklusioner er baseret på et begrænset antal objekter med hætteventilation, og på den baggrund er der behov for, at der gennemføres yderligere undersøgelser, hvor de strømningstekniske forhold i forbindelse med hætteventilation undersøges mere detaljeret.

**Mekanisk ventilation af taghulrum**

De i projektet undersøgte tage med mekanisk ventilerede taghulrum viser, at det er vanskeligt i praksis at sikre, at ventilatorerne fungerer til stadighed.

Mekanisk overtryksventilation af taghulrummet kan dog — forudsat at der etableres en funktionsovervågning — anvendes til at »redde« fugtbelastede tage og til at udtørre tage inden en eventuel renovering f.eks. med udvendig merisolering.

**Slutbemærkning**

De gennemførte undersøgelser har givet anledning til en række konklusioner sammenfattet i denne artikel. Det er her fastslået, at fugtproblemer i nye tage undgås ved rigtigt valg af tagtype, og ved at skabe lufttæthed ved fugtspærrens tilslutninger til gennembyrdninger og vægge. Undersøgelserne har også vist, at fugtproblemer i eksisterende tage ikke kan løses ved forøget ventilation, idet det er fugtspærrens lufttæthed, der er den afgørende faktor. I et eksisterende hus vil det normalt være uhyre vanskeligt at forbedre fugtspærrens lufttæthed nedefra. Derfor må det i de fleste tilfælde anbefales at løse eventuelle fugt-tekniske problemer i flade tage ved en ud-

vendig merisolering (4), da det normalt er muligt at bringe den eksisterende tagdækning til at fungere som en effektiv fugtspærre.

**Referencer**

- (1) Ventilation af flade tage. COWIconsult publikation nr. 472. April 1984.
- (2) Merisolering af flade tage. G. Christensen et al. Byggeindustrien nr. 4, 1980.
- (3) Merisolering af flade tage. TR-slutrapport. V. Korsgaard et. al. COWI-consult publikation nr. 418, december 1981.
- (4) Merisolering af flade tage, TOR-anvisning 11, april 1982.
- (5) Trykforhold i flade tage. SBI-rapport 153, december 1983.

Denne artikel er baseret på et teknologirådsprojekt »Ventilation af flade tage«, som er gennemført i et samarbejde med en række teknikere på området. Det drejer sig om:  
 Professor Vagn Korsgaard, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH  
 Civilingeniør Knud Prebensen, Cowiconsult A/S  
 Direktør Viggo Thrane, Tåsinge Træ A/S  
 Civilingeniør O. Wulff, Wilcken og Wulff, rådgivende civilingeniører  
 Civilingeniør Georg Christensen, SBI  
 Civilingeniør Tommy Bunch-Nielsen, Cowiconsult A/S  
 Teknisk chef Svend Åge Jensen, Hotaco A/S  
 Researchchef H.E. Jørgensen, AS Phoenix  
 Ingeniør Uwe Lohse, SBI  
 Civilingeniør, lic.techn. Asta Nicolajsen, SBI  
 Civilingeniør Hans Nielsen, JTI  
 Ingeniør Keld Winther Nielsen, Superfos A/S  
 Direktør Bent Rasmussen, TOR