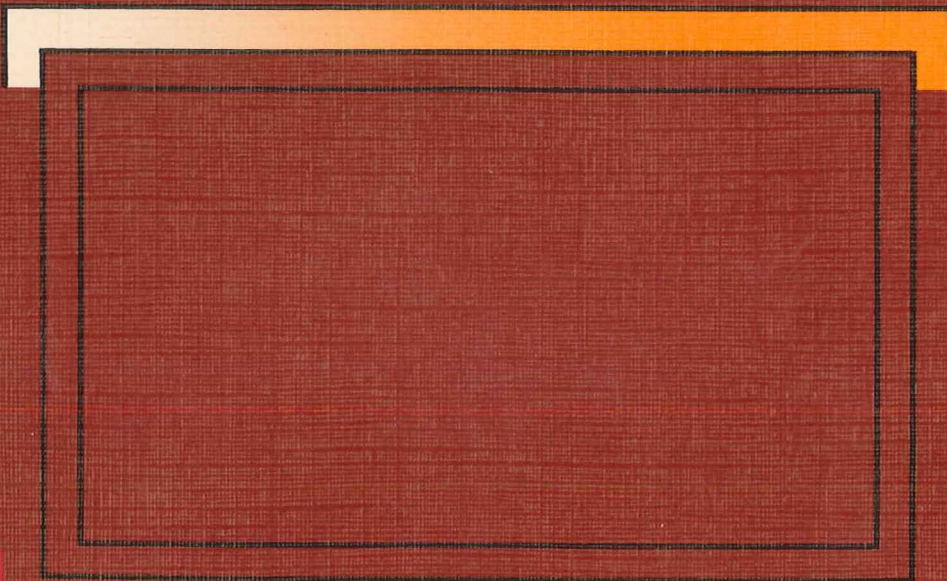


Trykforhold i flade tage



SBI-RAPPORT 153 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1983



TRYKFORHOLD I FLADE TAGE

Asta Nicolajsen

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

^{EX. 2}
29 OKT. 1992

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

00 274 P

^{EX. 2}
30 JAN. 1984



SBI-rapporter

er beretninger om afsluttede forskningsprojekter og afsluttede faser i fasedelte projekter samt beretninger fra visse konferencer og symposier.

SBI-publikationer

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

SBI-abonnement

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

ISBN 87-563-0531-1.

ISSN 0573-9985.

Pris: Kr. 72,00 inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 1000.

Tryk: Bjørvig Offset, Hvidovre.

Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon: 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 153: Trykforhold i flade tage. 1984.

Indholdsfortegnelse

	Side
Forord	4
Sammenfatning	5
Tagkonstruktionstyper	8
Opbygning af forsøgstag	10
Målepunkter i forsøgstag	14
Trykmåleudstyr	18
Trykforhold i forsøgstag	20
Fugtmåling i forsøgstag	28
Laboratoriemåling af dampspærrers lufttæthed	30
Opstrømmende fugtmængde i tagrummet	34
Summary	37
Litteratur	40

 Forord

Det har igennem de senere år været erkendt, at fugtproblemer i tage skyldes opstrømning af rumluft gennem utætheder på grund af trykforskelle, og i mindre grad diffusion som hidtil antaget.

Med støtte fra energiministeriets energiforskningsprogram EM-2 er der igennem en længere periode blevet gennemført en række målinger af trykforhold i flade tagkonstruktioner. Måleudstyret og resultaterne præsenteres i denne rapport. Projektet er gennemført i nært samarbejde med Teknologirådsprojektet: "Ventilation af flade tage" (1), hvis formål har været at undersøge fugtforhold ved forskellige former for ventilation, idet en række tidligere undersøgelser har vist, at fugtophobningen i flade tage ofte er utilladelig stor med råd og svampeskader til følge.

Styringsgruppen for teknologirådsprojektet har samtidig virket som støttegruppe for dette projekt. Styringsgruppen havde følgende medlemmer:

Professor Vagn Korsgaard, Lab. for Varmeisolering, DTH
 Direktør Viggo Thrane, Tåsinge Træ A/S
 Civilingeniør O. Wullf, Wilcken & Wullf, rådgivende ingeniører
 Civilingeniør K. Prebensen, COWIconsult, rådgivende ingeniører AS
 Civilingeniør Georg Christensen, SBI.

Statens Byggeforskningsinstitut
 Afdelingen for bygningsfysik, december 1983
 Georg Christensen

 Sammenfatning

Konvektion

Fugtproblemer i flade tagkonstruktioner skyldes ofte opstrømning af varm, fugtig rumluft i tagkonstruktionen fra det underliggende lokale. Denne opstrømning, også kaldet konvektion, vil forekomme, når loftkonstruktionen ikke er helt lufttæt.

Lufttæthed

Det er normalt dampspærren, der skal give den fornødne lufttætning. Hvis dampspærren ikke er udført med omhyggeligt tætnede samlinger - også til vægge og gennembrydninger - strømmer store mængder rumluft op i tagkonstruktionen. Når denne varme, fugtige luft kommer op i det kolde tagrum, vil den afkøle og afgive sin overskydende fugtmængde. Denne fugt skal ventileres bort med udeluft, hvis den ikke skal ophobes i de materialer, der kan opsuge fugt.

Trykforskel

Opstrømningen sker, fordi der i lokalet er et overtryk i forhold til trykket i tagkonstruktionens hulrum. Overtrykket skyldes den termiske opdrift, og bliver i øvrigt ved de fleste tagkonstruktioner forstærket af et undertryk (sug på tagfladen) som følge af vind.

Maksimale tryk

De registreringer af trykforhold, der er angivet i litteraturen, stammer fra målinger af tryk (sug) på selve tagfladen og er maksimumværdier, der bruges ved statiske beregninger af tagkonstruktioner.

Normale tryk

Ved en fugtteknisk vurdering af en tagkonstruktion er sådanne maksimale tryk uden betydning. Her er det derimod vigtigt at kende de gennemsnitlige trykforhold inde i tagkonstruktionen i forhold til trykket i det underliggende lokale.

Formål	Dette projekts formål har derfor været at udvikle en metode til måling af trykforhold inde i og umiddelbart over en flad tagkonstruktion, samt registrere trykforholdene i en række tage med forskellige former for ventilation.
Ventilationsformer	Målingerne blev gennemført i et svømmehalstag, som var delt op i seks områder med forskellige former for ventilation: Ingen ventilation (taghulrum lukket ved stern) Stern-stern ventilation Stern-hætte ventilation Hætte-hætte ventilation Mekanisk overtryksventilation Samt et sjette område med 0-energi elementer, der ikke var ventileret.
Måleperiode	Trykket i tagkonstruktionerne og suget på tagfladen blev registreret over længere perioder fra efteråret 1980 til foråret 1982.
Fugtmåling	I den samme periode målt fugtindholdet i tagkonstruktionerne, og det viste sig, at de alle med undtagelse af taget med mekanisk overtryksventilation blev opfugtet for meget, idet fugtindholdet nåede over grænsen for, hvor der var risiko for angreb af råd og svamp.
Ingen ventilation	I de to tagkonstruktioner uden ventilation var det ikke muligt at få et billede af trykforholdene, idet målingerne varierede så meget, at det ikke var muligt at tyde dem.
Naturlig ventilation	I de tre ventilerede tagkonstruktioner var der altid et undertryk i hulrummet i forhold til lokalet nedenunder. Undertrykket varierede hen gennem konstruktionen (mindste undertryk i luv side og størst i læ) og var i gennemsnit ca. 3 Pa under vinterforhold, hvor der var risiko for kondens. Der var ingen væsentlig forskel på trykforholdene i tagkonstruktionerne med de tre ventilationstyper.
Mekanisk overtryksventilation	I området med mekanisk overtryksventilation var der overtryk i hele hulrummet, og konstruktionen blev derfor ikke opfugtet. Dette var dog en energikrævende ventilationsform, der ikke generelt kan anbefales.

Opstrømmet luftmængde	Tidligere udførte målinger i laboratoriet af de luftmængder, der passerede samlinger og utætheder i en dampspærre, viste, at i et 120 m ² hus med en almindelig udført dampspærre, kan der strømme ca. 60 m ³ rumluft op i tagkonstruktionen pr. time.
Ventilationsmængde	For at fjerne den fugt, denne rumluft afgiver ved afkøling i tagrummet, skal der ventileres med en udeluftmængde, der er 10 gange så stor som den luftmængde, der strømmer op i tagrummet. Tagrummet i et almindeligt hus skal derfor ventileres med mindst 600 m ³ udeluft pr. time, svarende til ca. 35 m ³ pr. m tagfod pr. time.
Lufttæt loftkonstruktion	Undersøgelserne har bekræftet, at det er meget vigtigt, at loftkonstruktioner udføres lufttæt for at forhindre kondens i tagrum og dermed opfugtning af eventuelle træmaterialer i taget.
Hætter	Da suget på tagfladen er større end undertrykket i hulrummet i tagkonstruktionen, vil hætter i tagfladen kombineret med en utæt loftkonstruktion yderligere forværre risikoen for opfugtning.

 Tagkonstruktionstyper

De almindelige flade tagkonstruktioner opdeles normalt i 2 grupper, nemlig de såkaldte varme og kolde tage.

Varme tage

Varme tage er opbygget med varmeisoleringen på den kolde side af den bærende del af konstruktionen. Den bærende del af konstruktionen befinder sig derfor altid i et klima, som er meget nær rumklimaet, og er derfor ikke udsat for store ændringer i temperatur- og fugtforhold. Varme tage er uden ventilation, figur 1.

Kolde tage

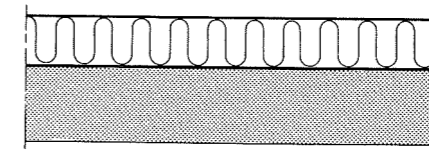
I kolde tage befinder den bærende del af konstruktionen sig normalt delvis i den kolde og delvis i den varme del af tagkonstruktionen. Dette medfører, at konstruktionen har tendens til krumning, når fugt- og temperaturforhold varierer fra overside til underside. Der er desuden ventilationsåbninger til det fri, således at indefra kommende fugt - hvad enten den stammer fra diffusion eller konvektion - kan ventileres bort, figur 2.

Ventilation

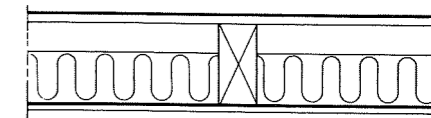
Ventilation af tagkonstruktionen kan ske på flere måder. Den mest almindelige er ventilation fra stern til stern, figur 3. Hvis bygningen er meget bred, eller der er fx murkroner langs facaden, må der anvendes hætter i tagfladen, evt. kombineret med sternventilation, figur 4 og 5.

Mekanisk overtryksventilation

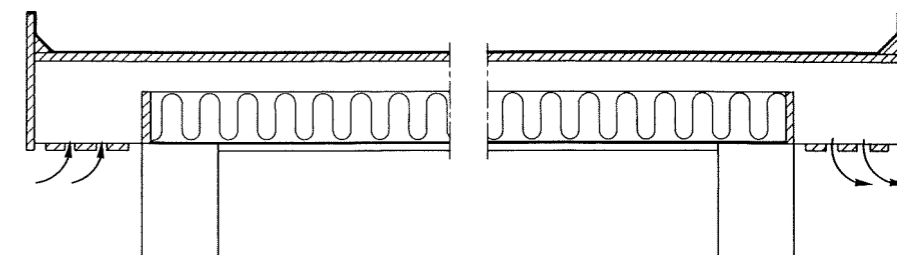
Fugtforhold i tagrum kan også styres ved hjælp af mekanisk overtryksventilation, men denne metode benyttes sjældent, da den er ret energikrævende. Den mekaniske overtryksventilation er dog velegnet til udtørring af meget fugtige tagkonstruktioner, idet der gennem hulrummet passerer store luftmængder, som kan optage fugt, figur 6.



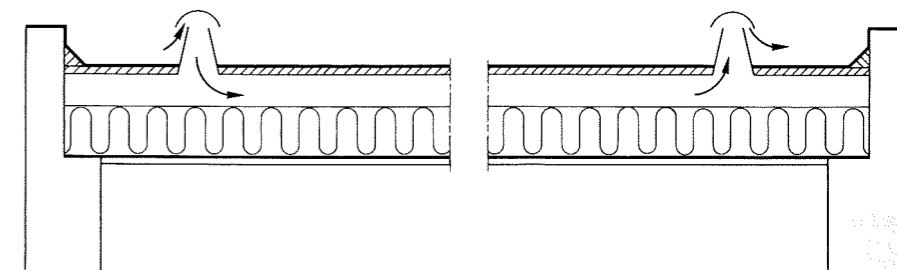
Figur 1. Typisk opbygning af et varmt (ikke ventileret) tag.



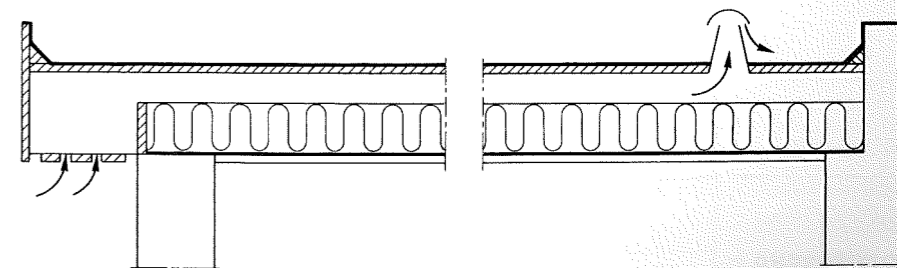
Figur 2. Typisk opbygning af et koldt (ventileret) tag.



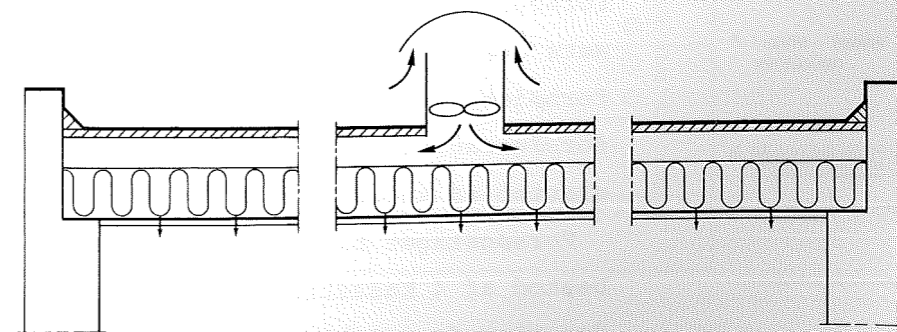
Figur 3. Princip for stern-stern ventilation.



Figur 4. Princip for hætte-hætte ventilation.



Figur 5. Princip for stern-hætte ventilation.



Figur 6. Princip for mekanisk overtryksventilation.

 Opbygning af forsøgstag

Forsøgsemne

Det var oprindeligt planlagt at måle på en række forskellige bygninger for at få konstateret indflydelsen fra forskellige former for ventilation af de kolde tage. Tidligt i projektforsøget viste det sig imidlertid muligt at gennemføre trykmålingerne i forbindelse med målinger af fugtforhold i et forsøgstag med forskellige ventilationsformer. Herved kunne der måles på tagkonstruktioner under nogenlunde ens betingelser, dvs. med samme ude- og indeklimapåvirkninger.

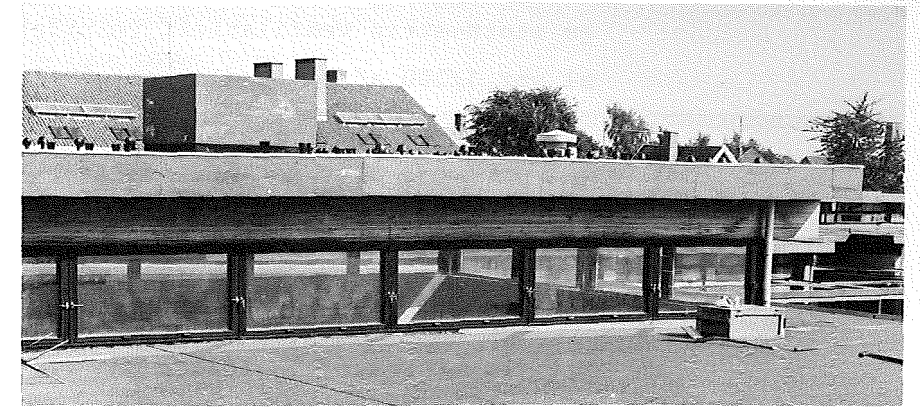
Islevbadet

Forsøgstaget var dele af det flade tag over svømmehallen Islevbadet. Svømmehallen er bygget i 1972, og det oprindelige tag var et koldt tag opbygget af kassetter med indbygget dampspærre og overflange af træfiberplader. Taget viste hurtigt tegn på fugtproblemer, og efter flere forsøg på at redde taget med forbedring af dampspærre og forøget ventilation af hulrummet over isoleringen, blev det i 1980 besluttet at udskifte hele taget.

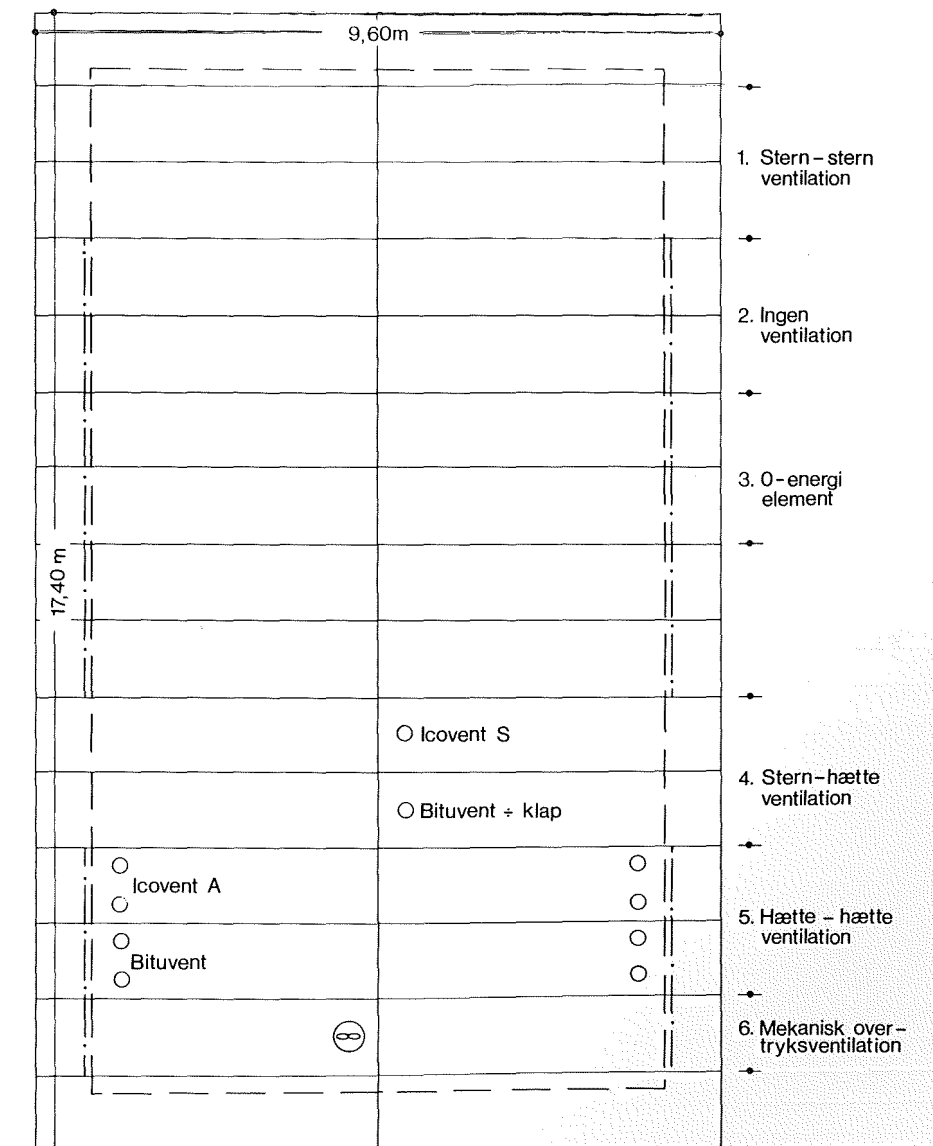
Forsøgstag

Rødovre kommune stillede sig i forbindelse med ombygningen velvillig til at lade en del af taget indgå som forsøgstag i forbindelse med udskiftningen. Over bassinets oprindelige udspringstårn var svømmehallens tag forhøjet, figur 7. Denne del af taget blev bevaret som forsøgstag, idet kassetternes træfiberplader blev erstattet af krydsfinerplader, figur 9.

Forsøgstaget blev opdelt i 6 forsøgsområder, der hver bestod af 4 kassetter (område 6 dog kun 2). I de 6 områder blev der etableret forskellige former for ventilation, figur 8-11.



Figur 7. Forhøjet del af tag på Islevbadet, som er blevet benyttet til forsøgstag ved trykmålingerne.



SIGNATUR:
 Ventilation _____
 lukket _____
 Hætte _____
 PMC 250 _____
 ventilator _____

Figur 8. Forsøgstag over Islevbadet med angivelse af forsøgsområder.

 Opbygning af forsøgstag

Forsøgsemne

Det var oprindeligt planlagt at måle på en række forskellige bygninger for at få konstateret indflydelsen fra forskellige former for ventilation af de kolde tage. Tidligt i projektforsøget viste det sig imidlertid muligt at gennemføre trykmålingerne i forbindelse med målinger af fugtforhold i et forsøgstag med forskellige ventilationsformer. Herved kunne der måles på tagkonstruktioner under nogenlunde ens betingelser, dvs. med samme ude- og indeklimapåvirkninger.

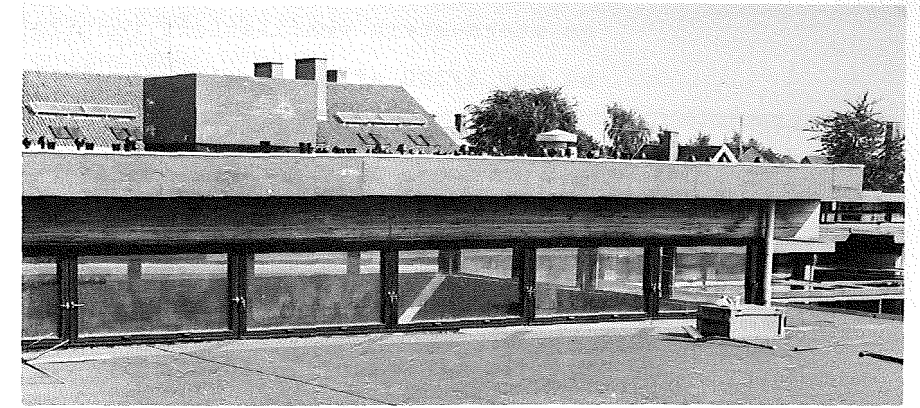
Islevbadet

Forsøgstaget var dele af det flade tag over svømmehallen Islevbadet. Svømmehallen er bygget i 1972, og det oprindelige tag var et koldt tag opbygget af kassetter med indbygget dampspærre og overflange af træfiberplader. Taget viste hurtigt tegn på fugtproblemer, og efter flere forsøg på at redde taget med forbedring af dampspærre og forøget ventilation af hulrummet over isoleringen, blev det i 1980 besluttet at udskifte hele taget.

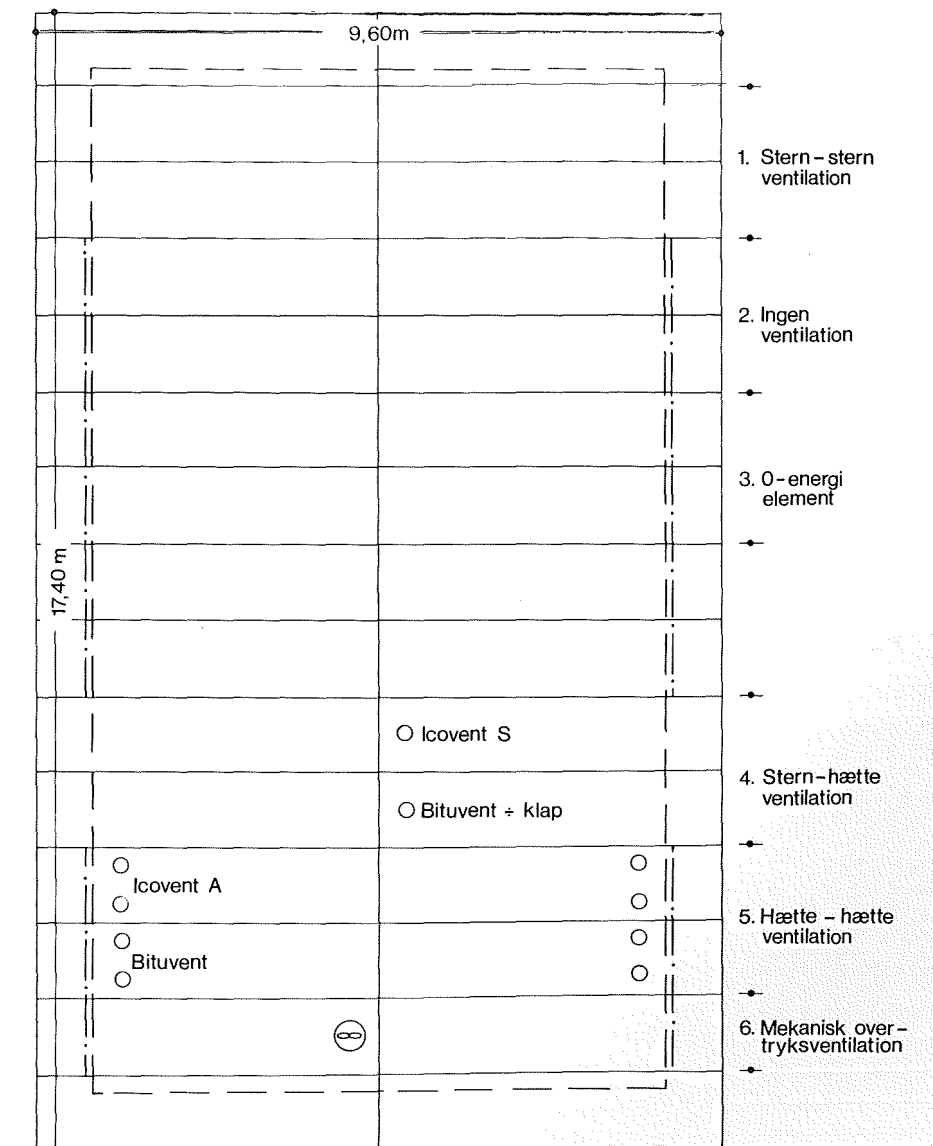
Forsøgstag

Rødovre kommune stillede sig i forbindelse med ombygningen velvillig til at lade en del af taget indgå som forsøgstag i forbindelse med udskiftningen. Over bassinets oprindelige udspringstårn var svømmehallens tag forhøjet, figur 7. Denne del af taget blev bevaret som forsøgstag, idet kassetternes træfiberplader blev erstattet af krydsfinerplader, figur 9.

Forsøgstaget blev opdelt i 6 forsøgsområder, der hver bestod af 4 kassetter (område 6 dog kun 2). I de 6 områder blev der etableret forskellige former for ventilation, figur 8-11.

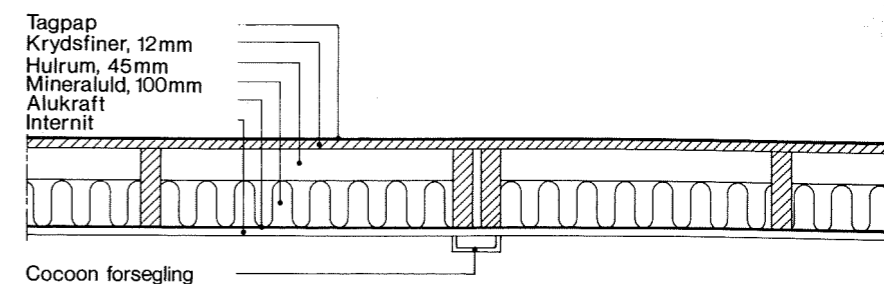


Figur 7. Forhøjet del af tag på Islevbadet, som er blevet benyttet til forsøgstag ved trykmålingerne.

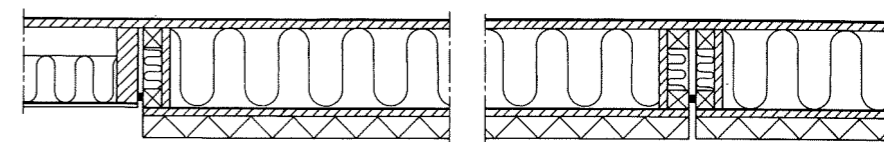


Figur 8. Forsøgstag over Islevbadet med angivelse af forsøgsområder.

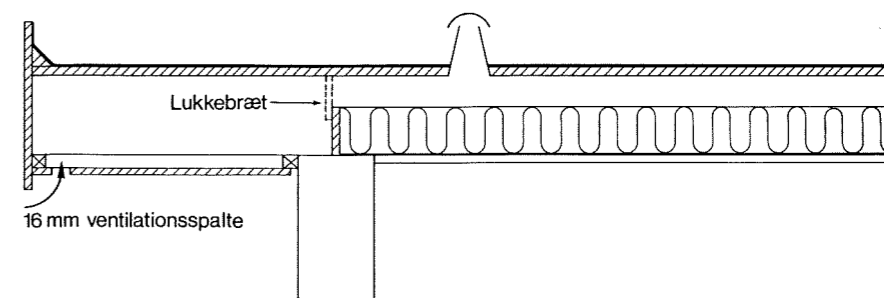
- Område 1 Område 1 blev bevaret som reference med den oprindelige stern-stern ventilation. Ventilationsåbningernes areal var $1/300$ af tagarealet, og åbningerne bestod af en 16 mm spalte i hver side af taget, figur 11.
- Område 2 I område 2 blev den oprindelige sternventilation lukket.
- Område 3 I område 3 blev der i første omgang forsøgt at ilægge en ny dampspærre oppefra, samtidig med at der blev lukket for sternventilationen. Det viste sig hurtigt, at fugtniveauet i dette område ikke adskilte sig fra fugtniveauet i område 2, hvorfor tagelementerne i område 3 blev udskiftet med Superfos-0-energielementer, figur 10.
- Område 4 I område 4 blev den oprindelige sternventilation bevaret, men suppleret med hætter midt på taget. I de to nordligste kassetter blev der monteret Icovent S hætter, og i de to sydlige kassetter Bituvent hætter uden klap.
- Område 5 I område 5 blev sternventilationen lukket, og kassetterne blev i stedet forsynet med hætte-hætte ventilation, idet der blev placeret hætter i kanten af taget. Her blev monteret Icovent A hætter i de to nordlige kassetter. Disse hætter var asymmetriske og skulle anbringes parvis. I de to sydlige kassetter blev monteret Bituvent hætter.
- Område 6 I område 6 blev sternventilationen lukket, og der blev etableret mekanisk overtryksventilation ved hjælp af en ventilator.
- Flangehuller I områderne 1, 2, 4, 5 og 6 blev der boret 2 stk. $\varnothing 25$ mm huller i hver kassette i internitpladen, som udgjorde bundflangen. Disse huller blev boret for at få en veldefineret og ens utæthed i bundflangen i alle måleområderne.



Figur 9. Opbygning af tagkonstruktion i områderne 1, 2, 4, 5 og 6.



Figur 10. 0-energi-elementer anvendt i område 3.

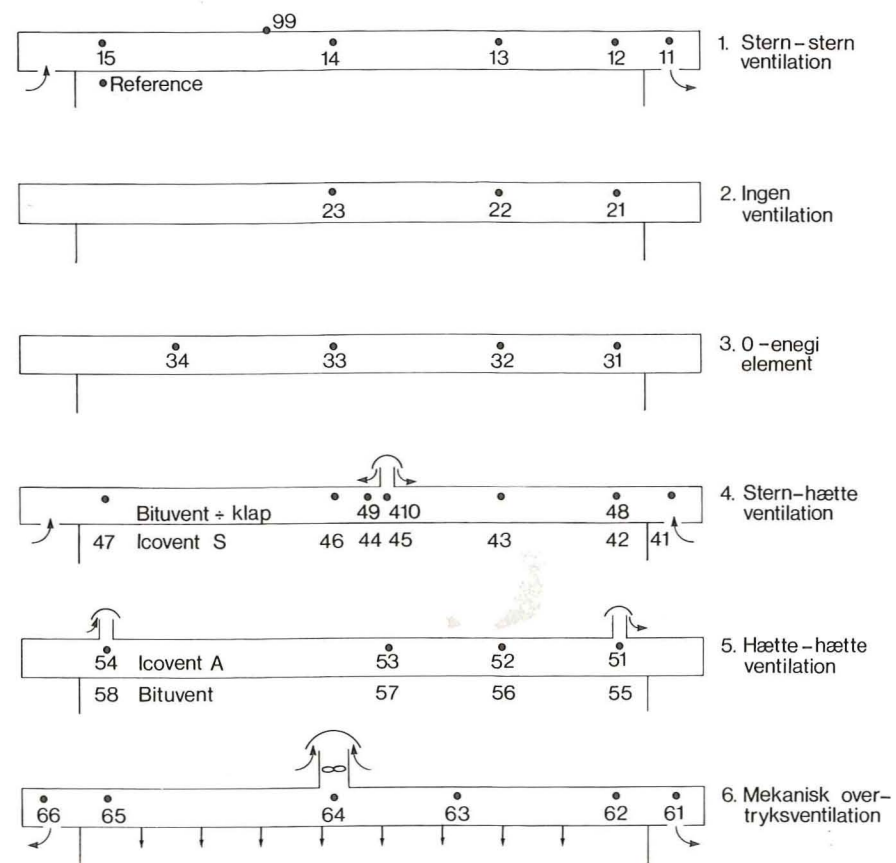


Figur 11. Snit i forsøgstag med markering af sternventilation ved tagkant, hætte samt bræt, der lukkede for ventilation i områderne 2, 5 og 6.

Målepunkter i forsøgstag

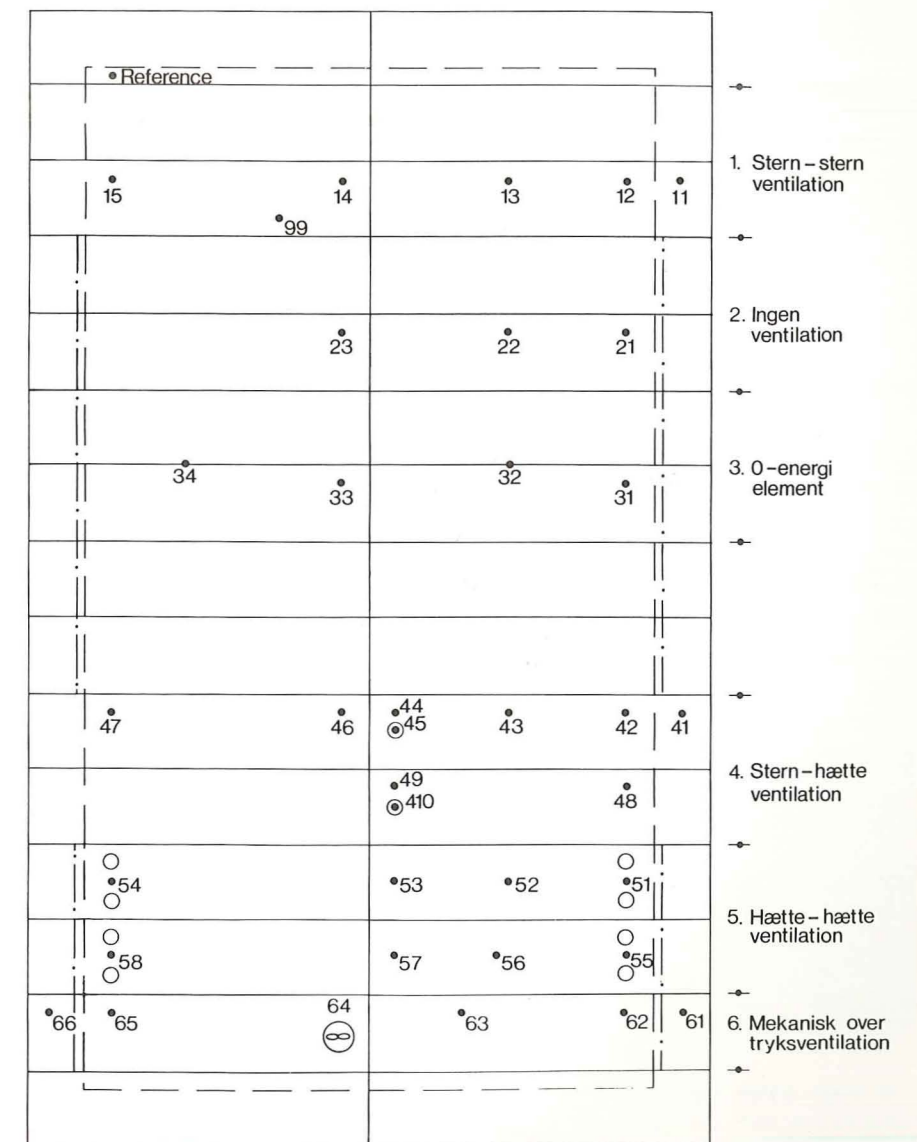
Målepunkter

I de enkelte områder blev der etableret mellem 3 og 8 trykmålepunkter. Herudover blev der etableret et målepunkt på tagfladens overside til registrering af trykforholdene på tagfladen. Dette målepunkt blev placeret 3 m fra tagets nordlige kant og 3 m fra tagets vestlige kant, figur 12 og 13.



Figur 12. Principtegninger af de enkelte forsøgsområder med angivelse af placering af trykmålesonder i hulrummet i tagkonstruktionerne, samt angivelse af tryksonde på tagflade og i underliggende lokale (reference).

SIGNATUR:
 Trykmålepunkt ●
 Ventilation lukket ———
 Hætte ○
 PMC 250 ventilator ⊗



Figur 13. Forsøgstag over Islevbadet. Placering i vandret plan af trykmålesonder i ventilationshulrummet i tagelementerne, på tagfladen (99) og i lokalet nedenunder (reference).

Hætter

På tagoverfladen fandtes ventilationshætter til ventilation af tagkonstruktionen samt hætter til nedføring af trykmålesonder. Endelig var der hætter, der benyttedes i forbindelse med måling af fugtindholdet i tagkonstruktionen, figur 14.

Målesonder

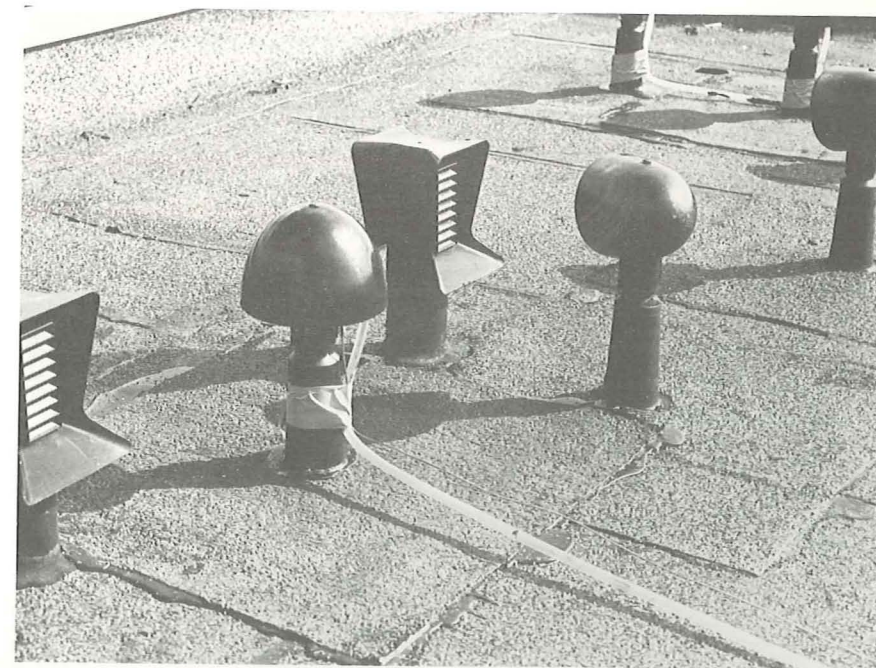
Målingerne foregik med trykmålesonder, der førtes til et centralt registreringssted. Trykmålesonderne, der var plastslanger, blev ført ned i hulrummet i tagkonstruktionen via i øvrigt lukkede ventilationshætter for at få en regntæt gennemføring, figur 15.

0-energi-element

I Superfos-0-energi elementet i område 3 blev målesonden ført ned i den øverste del af isoleringen i punkterne 31 og 33 og ned i samlingen mellem elementerne i punkterne 32 og 34.



Figur 14. Det sydøstlige hjørne af forsøgstaget med hætter til ventilation, til trykmåling og til måling af fugtindhold. Bagest til højre ses ventilatoren, der benyttes til mekanisk ventilation af område 6.



Figur 15. Trykmålesonde (plastslange) blev ført ned i taghulrum gennem ventilationshætter. De to "firkantede" ventilationshætter er Bituvent ventilationshætter i område 5 med hættestøtte ventilation. Derudover ses yderligere bagest to hætter benyttet til trykmåling, samt to hætter til højre, der benyttes til afdækning af ledninger til fugtmåling.

 Trykmåleudstyr

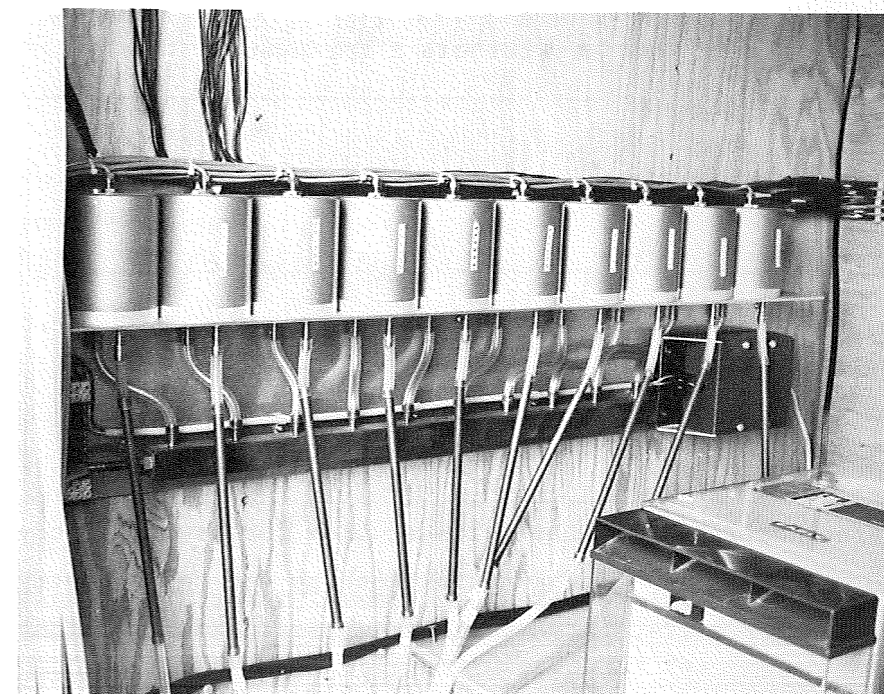
Tryktrans-
ducere

På den tagflade, der lå ved siden af forsøgstaget, blev der opstillet et lille hus til måleudstyret. Måleudstyret bestod af 10 stk. tryktransducere (Furness Controls Ltd. Low pressure transducer, type F C 040 med måleområde fra 0 til 100 Pa), figur 16. Som referencetryk blev benyttet trykket inde i svømmehallen lige under loftet. Alle tryktransducernes ene studs blev derfor forbundet med et samlerør og derfra videre med slange til svømmehallen (reference på figur 12 og 13).

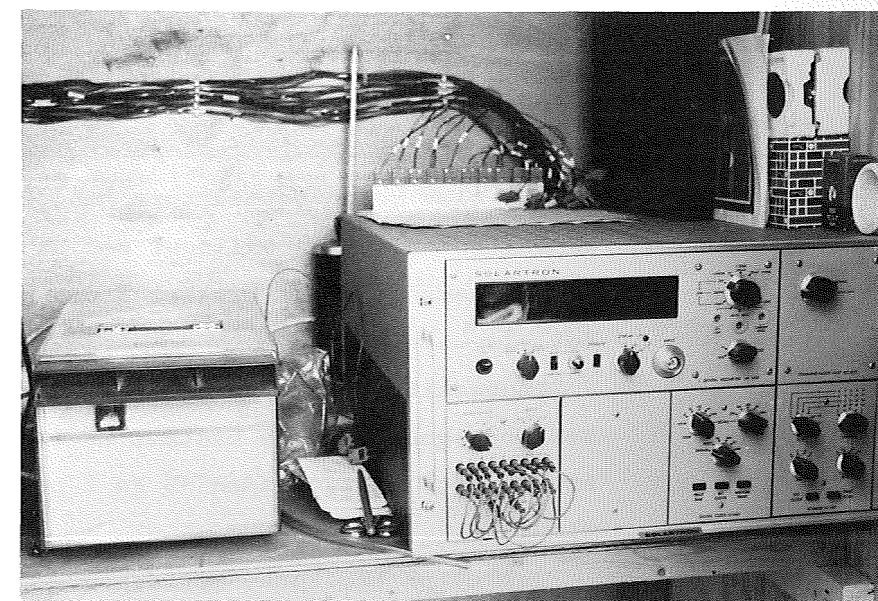
Tryktransducernes anden studs blev forbundet med de ønskede målepunkter, idet der blev indskudt et rør med en blænde for at dæmpe de hurtige trykvariationer.

Registrering

Trykkene blev i tryktransducerne omsat til spændinger, der blev registreret på papirtape, idet en strimmelhuller var koblet til en 10-kanals datalogger. Dataloggeren styrede samtidig registreringstidspunkterne, som var valgt til 1 gang i timen, figur 17.



Figur 16. Trykmåleudstyret bestod af 10 stk. tryktransducere. Transducernes ene studs var via et rør - med blænde til dæmpning af hurtige trykvariationer - forbundet med de enkelte målepunkter. Den anden studs var via et firkantet samlerør forbundet med lokalet under loftkonstruktionen (reference).



Figur 17. Strimmelhuller og datalogger til registrering af trykkene i tagkonstruktionerne.

 Trykforhold i forsøgstag

Referencetryk

Alle målinger blev foretaget med trykket i lokalet under tagkonstruktionerne som referencetryk, dvs. positive tryk var overtryk i tagkonstruktionen i forhold til lokalet, og negative tryk var undertryk.

Hele Islevbadet var mekanisk ventileret, og ventilationsanlægget gav et undertryk på ca. 3 Pa.

Målingerne af trykforholdene fandt sted i længere perioder fra efteråret 1980 til foråret 1982.

Måledata

Måledataerne forelå som spændinger i mV på papirtape og blev indlæst på NEUCC, hvor de blev omregnet til tryk.

Trykket i de enkelte målepunkter blev derefter udtegnet som funktion af tiden. For hver tidsperiode blev der optegnet tryk (sug) på tagfladen + tryk i 9 andre punkter i tagkonstruktionen. Eksempler herpå er vist på figurerne 18 og 19.

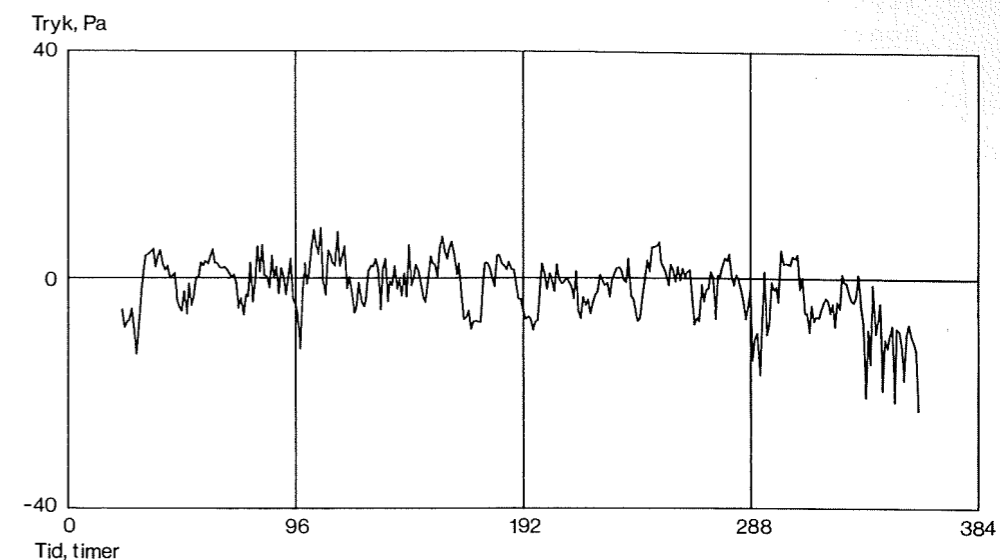
Gennemsnit

Trykket i de enkelte målepunkter svingede meget, men da der blev registreret store mængder data, bliver gennemsnittet af disse målinger med stor sandsynlighed lig med gennemsnittet af trykket i den pågældende måleperiode.

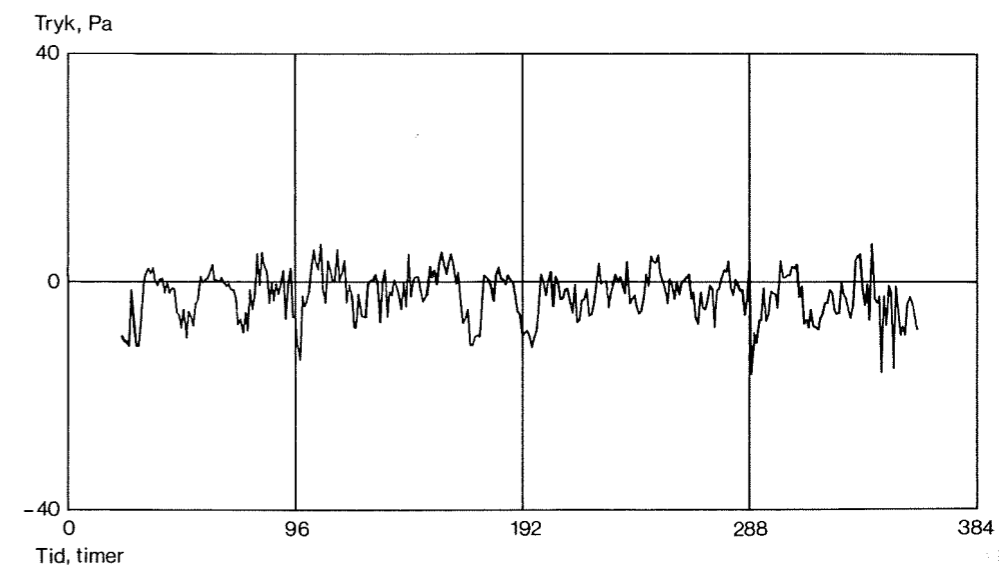
Sug på tagfladen

Gennemsnittet af trykket (suget) på tagfladen blev for hver optegnet periode bestemt ud fra kurven. Fx var trykket (suget) på tagfladen -3 Pa i perioden 24.9.-7.10.81, figur 18.

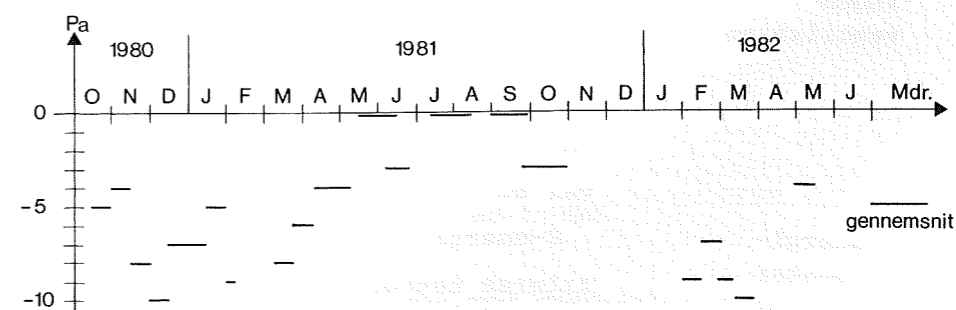
Trykket på tagfladen varierede gennem året. Af figur 20 ses, at suget var størst i vintermånederne, og mindst i sommermånederne, idet trykket varierede fra -10 til 0 Pa med et gennemsnit på -5 Pa over de benyttede måleperioder.



Figur 18. Trykket (suget) på tagfladen (punkt 99) som funktion af tiden målt i perioden 24.9.-7.10.1981. Det gennemsnitlige tryk for perioden var -3 Pa.



Figur 19. Trykket i tagkonstruktion med hætte-hætte ventilation i punkt 56 (figur 12) målt i perioden 24.9.-7.10.1981.



Figur 20. Trykket (suget) på tagfladen som funktion af tiden, angivet som gennemsnittet for hver udtegnede 14-dages periode. Gennemsnittet for de målte perioder var -5 Pa, gennemsnittet for perioden okt. 1980-sept. 1981 var -4 Pa.

Tryk i tag-
konstruktion

Trykket i de enkelte målepunkter i tagkonstruktionen varierede på samme måde som trykket på tagfladen, figur 18 og 19. Dette ses tydeligt, når trykket i det aktuelle målepunkt og trykket på tagfladen blev optegnet sammen, figur 21.

Trykforholdene i tagkonstruktionen blev bestemt ved aflæsning af trykforskellene mellem trykket i de aktuelle målepunkter og trykket på tagfladen i den pågældende periode. Af figur 21 ses, at forskellen mellem trykket på tagfladen og trykket i det aktuelle målepunkt var -2 Pa, dvs. det gennemsnitlige tryk i dette målepunkt i tagkonstruktionen var -5 Pa i den pågældende måleperiode, da trykket på tagfladen var -3 Pa. Dvs. at der var et gennemsnitligt undertryk på 5 Pa i målepunkt 56 i perioden 24.9.-7.10.81.

Stern-stern-
ventilation

I tagkonstruktionen med stjern-stern-ventilation, område 1, blev der i fire måleperioder i tidsrummet 5.10.80-3.2.81 registreret et svagt overtryk i den vestlige side af tagkonstruktionen lige inden for udhænget på gennemsnitlig 2 Pa målt i forhold til trykket i lokalet under tagkonstruktionen. Trykket faldt hen gennem konstruktionen til et undertryk på -6 Pa i det østlige udhæng. På selve tagoverfladen var der i perioden et tryk (sug) på -7 Pa, figur 22.

Der vil gennem hele vinterperioden kunne ske en opsugning af varm, fugtig rumluft, hvis der er utætheder i dampspærren, herunder utætheder i forbindelse med samlinger til andre bygningsdele, da trykket er lavere i tagkonstruktionen end i lokalet.

Ingen
ventilation

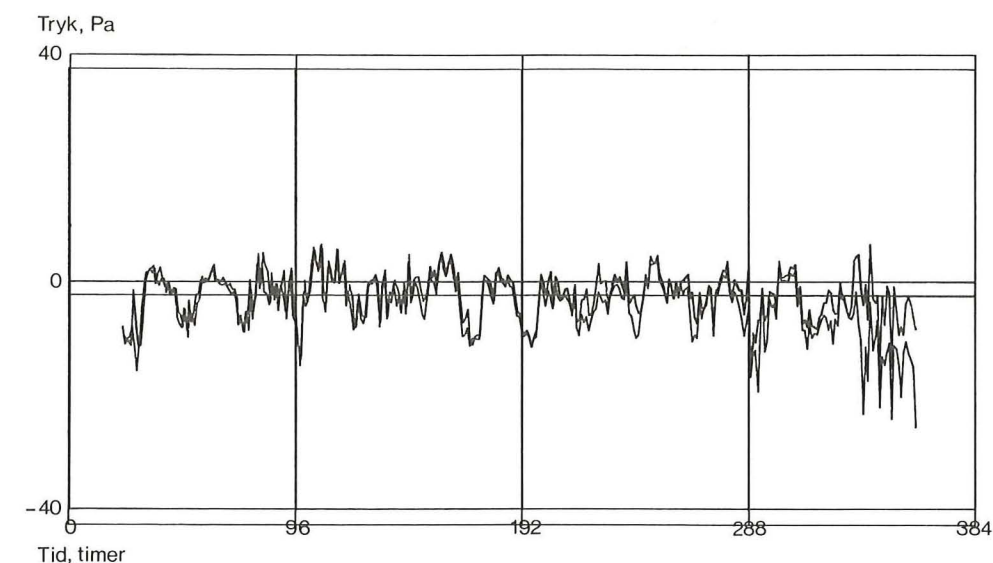
Tagkonstruktionen i område 2 var uden ventilation, idet den oprindelige sternventilation blev lukket. Det har ikke været muligt at registrere nogle rimelige trykværdier, idet målingerne variede så meget, at det ikke var muligt at tyde dem.

0-energi-
elementer

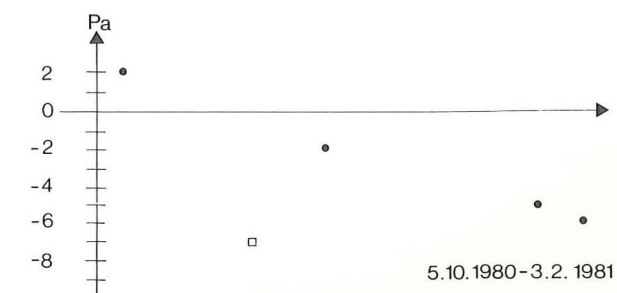
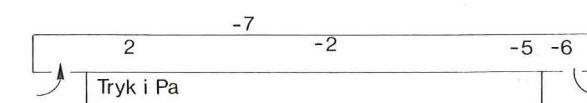
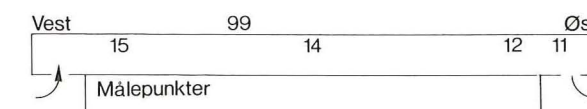
0-energi-elementerne i område 3 udgjorde en ikke ventileret tagkonstruktion. Registrering af trykket i dette område var ligeledes ikke muligt.

Stern-hætte
ventilation

Den oprindelige sternventilation i område 4 blev bevaret og suppleret med hætter midt på taget. Der blev anvendt Icovent S hætter i to af kassetterne og Bituvent hætte uden klap i de to andre kassetter.



Figur 21. Trykket på tagfladen samt i punkt 56 som funktion af tiden afbildet i samme figur. Trykkene er afbildet hver for sig på figur 18 og 19.



Figur 22. Trykforhold i tag med stjern-stern ventilation. Øverst er angivet placering af målepunkter (jvf. figur 12 og 13), dernæst er angivet det gennemsnitlige tryk i de enkelte målepunkter fra målinger i fire perioder i tidsrummet 5.10.80-3.2.1981; nederst er optegnet trykkehænder hen gennem taghulrummet.

De registrerede tryk i dette område svingede så meget, at det ikke er muligt at angive gennemsnitsværdier for trykket.

Trykkene var dog hovedsagelig negative, dvs. der vil kunne ske en opsugning af varm, fugtig rumluft, hvis der er utætheder i dampspærren.

Hætte-hætte-ventilation

I område 5 blev den oprindelige sternventilation lukket, og der blev etableret ventilation ved anbringelse af hætter i kanten af taget.

Icovent A hætter

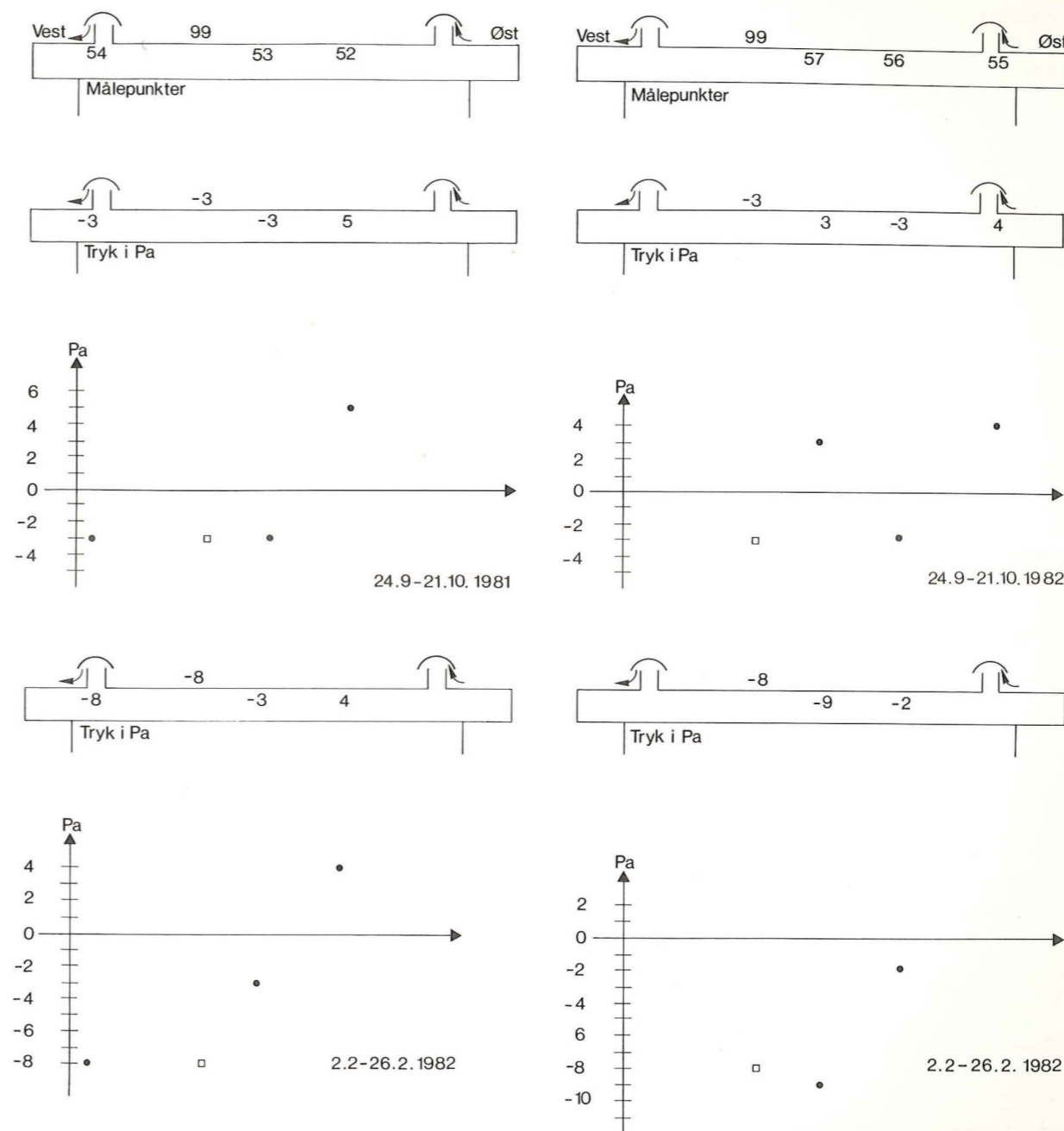
I de to nordligste kassetter blev der monteret to Icovent A hætter i hver side; disse hætter var asymmetriske og skulle derfor anbringes parvis, dvs. der skulle anbringes en hætte i hver tagside, og de to hætter skulle orienteres modsat hinanden. Det ene sæt hætter blev monteret med åbningen henholdsvis øst og vest, det andet sæt med åbningen mod henholdsvis nordøst og sydvest. Hættene i den østlige tagside ses på figur 15 i venstre side af billedet på hver sin side af en hætte til trykmåling.

Hættene gav et trykfald hen gennem tagkonstruktionen med et overtryk i den østlige side, og et undertryk i den vestlige side af taget, fig. 23. Der var hovedsageligt undertryk i tagkonstruktionen med denne type ventilationshætte. Dette ses tydeligst ud fra målingerne om vinteren, hvor suget på tagfladen også var størst. Denne ventilationsform gav derfor også risiko for opsugning af rumluft.

Bituvent hætter

I de to sydligste kassetter i område 5 blev der monteret 2 Bituvent hætter i hver side. Disse hætter var udstyret med en indvendig, bevægelig klap, der skulle sikre, at der var overtryk i taghulrummet, idet hættene var konstrueret således, at de virkede som trykhætter inden for det største område af vindretningen.

I vinterperioden gav disse hætter alligevel tydeligt undertryk i tagkonstruktionen med risiko for opsugning af rumluft, fig 24. Målingerne fra efterårsperioden, hvor trykket (suget) på tagfladen kun var -3 Pa, viste ikke noget rigtigt klart billede af trykforholdet i tagkonstruktionen i denne periode.



Figur 23. Trykforhold i tag med hætte-hætte ventilation. Øverst er angivet placering af målepunkter (jvf. figur 12 og 13) samt af ventilationshættene, der er Icovent type A. Dernæst er angivet det gennemsnitlige tryk i de enkelte målepunkter samt optegning af disse for henholdsvis perioderne 24.9.-21.10.1981 og 2.2.-26.2.1982.

Figur 24. Trykforhold i tag med hætte-hætte ventilation. Øverst er angivet placering af målepunkter (jvf. figur 12 og 13) samt af ventilationshættene, der er Bituvent hætter fra Phønix. Dernæst er angivet det gennemsnitlige tryk i de enkelte målepunkter samt optegning af disse for henholdsvis perioden 24.9.-21.10.1981 og 2.2.-26.2.1982.

Mekanisk overtryksventilation

I område 6 blev den oprindelige stern-ventilation lukket, og der blev etableret overtryksventilation ved hjælp af en ventilator, der blev monteret midt på tagfladen i området, figur 12 og 13.

Målingerne på denne del af tagkonstruktionen blev foretaget i tre perioder i tidsrummet 10.3-27.6.81, dvs. i slutningen af vinteren, hvor der var et tryk (sug) på taget på -8 Pa i gennemsnit, samt hen på sommeren, hvor trykket var næsten 0. Trykket inde i tagkonstruktionen varierede i takt med trykket ude, men blev ikke ændret meget, når gennemsnitstrykket ude blev ændret. Trykforholdene fremgår af fig. 25.

Af figuren fremgår det, at denne ventilationsform gav et konstant overtryk i taghulrummet og dermed forhindrede opugning af rumluft.

Udtørring

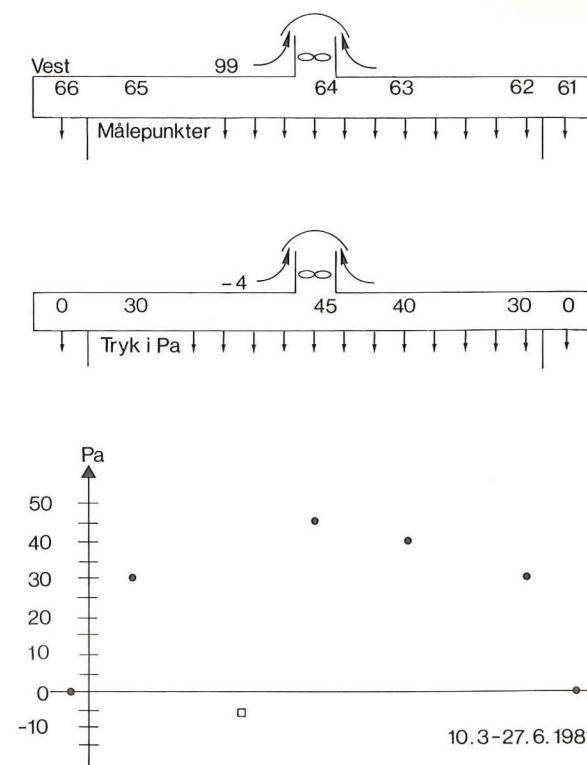
Ventilationsluften vil på sin vej ned gennem tagkonstruktionen blive opvarmet og vil herefter kunne optage mere fugt. Denne ventilationsform vil derfor have en betydelig udtørrende effekt og vil være velegnet til udtørring af tagkonstruktioner i forbindelse med udbedring af fugtskader.

Ressourcekrævende

Denne ventilationsform er dog meget ressourcekrævende, og den kan derfor ikke umiddelbart anbefales som en generel løsning, idet der ikke alene går energi til ventilatoren, men også til opvarmning af den indblæste, kolde luft. Denne må indblæses i ret store mængder for at sikre, at luftstrømmen overalt er nedadrettet. Herved kan det ikke undgås, at der bliver indblæst væsentligt større luftmængder end den friskluftmængde, der er nødvendig for at ventilere de underliggende rum.

Strømsvigt

Erfaringerne fra Islevbadet viste i øvrigt, at ventilatoren jævnligt gik i stå, fx ved strømafbrydelse, og - på grund af sikkerhedsforskrifter - ikke gik i gang igen af sig selv. Et sådant system vil derfor yderligere kræve en meget hyppig overvågning for at sikre, at anlægget er i drift.



Figur 25. Trykforhold i tag med mekanisk overtryksventilation. Øverst er angivet placering af målepunkter (jvf. figur 12 og 13); dernæst er angivet det gennemsnitlige tryk i de enkelte målepunkter fra målinger i tre perioder i tidsrummet 10.3-27.6.1981; nederst er optegnet trykkene hen gennem taghulrummet.

 Fugtmåling i forsøgstag

Som nævnt tidligere blev trykmålingerne koblet sammen med fugtmålinger, og disse målinger er rapporteret i "Ventilation af flade tage" (1), men da observationer af fugtforhold har nær sammenhæng med trykforholdene, skal resultaterne kort refereres her.

Naturlig/ingen
ventilation

Fugtmålingerne i tagkassetternes overflange viste, at i områderne 1-5, der enten ikke er ventileret eller har naturlig ventilation, nåede fugtindholdet op over 30% i en stor del af vinterhalvåret.

Udtørringen om sommeren startede først i maj-juni måned, hvilket ikke er tilfredsstillende, da temperaturen i månederne april-maj er over 5° C samtidig med, at fugtindholdet har været over 20%, hvilket giver gode muligheder for svampevækst.

Mekanisk
ventilation

Den mekaniske overtryksventilation kunne holde fugtindholdet nede på et acceptabelt niveau, men der har som nævnt tidligere været vanskeligheder med at holde ventilationssystemet i gang. Der har været flere stop, som øjeblikkelig medførte opfugtning af overflangen.

Tæt damp-
spærre

I område 3 blev det i første omgang forsøgt at etablere lufttæthed ved at ilægge en ny dampspærre oppefra, samtidig med at der blev lukket for den oprindelige sternventilation. Det viste sig hurtigt, at fugtindholdet i overflangen i dette område ikke adskilte sig fra fugtindholdet i område 3 med den gamle dampspærre.

Fugtbelastning

Ved vurdering af resultaterne må det iagttages, at i en svømmehal vil fugtbelastningen på tagkonstruktionen være langt større end i beboelsesbygninger og lignende.

Når denne høje fugtbelastning yderligere kombineres med en utæt dampspærre, fås en kraftig fugttransport op i taget, som ikke kan fjernes med naturlig ventilation af taghulrummet.

Svømmehallens tag har været udsat for sådanne fugttransporter op i taghulrummet - på grund af den termiske skorstenseffekt og suget på tagfladen - at hverken ændringer i ventilationen eller etablering af ny dampspærre (område 3) har kunnet løse de fugttekniske problemer i taget.

Varm tag-
konstruktion

Det må på denne baggrund nok konkluderes, at en tilstrækkelig luft- og diffusionstæt dampspærre ikke kan udføres i en kold (ventileret) tagkonstruktion over en svømmehal. I praksis må der derfor vælges en varm tagkonstruktion, hvor dampspærren kan udlægges på et plant underlag.

 Laboratoriemåling af dampspærrers lufttæthed

I forbindelse med en tidligere gennemført tilstandsundersøgelse af flade tage målt i laboratoriet, hvilke luftmængder der strømmede igennem en loftkonstruktion i afhængighed af lufttrykforskellen. Resultaterne gengives i kort form i det følgende.

Forsøgsparameter

Opstrømning af rumluft i tagrummet vil forekomme, når loftkonstruktionen ikke er lufttæt. Det er oftest dampspærren, der skal yde den fornødne lufttæthed. Forsøgenes formål har været at undersøge, i hvilken udstrækning der strømmede luft gennem en dampspærre på grund af den konstruktive udførelse (overlæg, tilslutninger til væg, underloft), samt på grund af utilsigtede utætheder såsom huller og revner, der opstår under byggeperioder.

Forsøgsapparat

I laboratoriet blev opbygget en loftkonstruktion, hvori såvel en dampspærre som forskellige isoleringstykker kunne monteres. Det var muligt at måle de sammenhørende værdier af trykforskel og luftmængder, der passerede konstruktionen.

Forsøg

Figur 26 viser måleresultaterne for nogle af de undersøgte loftkonstruktioner. Der blev i alt målt på 42 loftkonstruktioner. For hver loftkonstruktion blev luftgennemgangen målt for trykforskel fra -50 Pa til +50 Pa med spring på 10 Pa, og der blev optegnet kurver med luftgennemgangen som funktion af trykforskellen. De i figur 26 angivne værdier er aflæsninger fra disse kurver og giver den luftmængde, der passerede loftkonstruktionen, når der var undertryk på henholdsvis 30 og 3 Pa i hulrummet i loftkonstruktionen i forhold til lokalet nedenunder.

Konstruktionsopbygning	Luftmængde i m ³ /h ved trykforskel på	
	30 Pa	3 Pa
0,10 mm plastfolie med 100 mm overlæg	1,3	0,1
0,10 mm plastfolie med 100 mm overlæg, der er klemt med lægte	1,3	0,1
0,10 mm plastfolie med 20 mm overlæg	2	0,4
0,10 mm plastfolie med 20 sømhuller	2	0,3
0,10 mm plastfolie med 4 stk. 100 mm revner	2	0,3
0,10 mm plastfolie med 1 m revne	3	0,5
0,10 mm plastfolie med 4 stk. 200 mm revner	3	0,5
Alukraft med 100 mm overlæg	4	0,4
Alukraft med 100 mm overlæg, der er klemt med lægte	5	0,6
Alukraft med 1 m revne	10	1,2
Halvhård træfiberloftplade, fer og not samling	2	0,3
Gipsfliser, stødte fuger	3	0,4
Træuldbeton	-	-
Væg-loft samlinger:		
plastfolie stopper 10 mm fra væggen	38	5
plastfolie stødt op imod væggen	33	5
plastfolie sømmet til væggen med lægte	3	0,5

Figur 26. Luftgennemgang gennem forskellige loftkonstruktioner ved undertryk i hulrummet i loftkonstruktionen på henholdsvis 30 Pa og 3 Pa i forhold til rummet nedenunder. Værdierne ved 3 Pa er med store usikkerheder, da apparaturet ikke kan registrere luftgennemgange ved så små trykforskel. Alle konstruktioner er med 200 mm glasuld. Hvor intet andet er nævnt, er det luftmængde pr. m overlæg/fuge, der er angivet.

Resultater

Ud fra forsøgsresultaterne kan der angives en størrelsesorden af de luftmængder, som passerer gennem en loftkonstruktion. Desuden kan indflydelsen af forskellige former for utætheder i loftkonstruktionen sammenlignes. Det skal bemærkes, at der kun er foretaget én måleserie for hver loftkonstruktion, hvorfor usikkerheden på resultaterne ikke kan angives.

Alukraft -
plastfolie

Der gik væsentlig mere luft gennem overlæg hos alukraft end hos overlæg af 0,10 mm plastfolier, hvilket umiddelbart kan forklares ved, at alukraft er stivere. Der passerede ligeledes mere luft gennem huller og revner i alukraft end gennem tilsvarende svækkelser i plastfolie. Der vil dog ikke ud fra dette forsøgsmateriale alene kunne konkluderes, at plastfolie er mere velegnet, da det ikke er undersøgt, om der i praksis lige ofte forekommer huller i alukraft og plastfolie.

Overlæg

Der var et svagt fald i luftgennemgangen ved stigende bredde af overlæg. Forsøget har ikke påvist nogen klar forskel i luftgennemgang ved overlæg med og uden lægte til at klemme samlingen. Forskellene mellem tallene var så små, at det muligvis alene er forsøgsusikkerhed, der afspejledes.

Underloft

Fugerne i to af de undersøgte underlofter - halvård træfiber med fer og not samling og gipsfliser med stødte fuger - havde en luftgennemgang af samme størrelsesorden som overlæggene. Pladerne ville således bidrage til luftmodstanden. Det tredje undersøgte underloft - træuldbe-
ton - havde en så lille luftgennemgangsmodstand, at det i praksis ikke ville kunne yde nogen modstand imod luftgennemstrømning.

Væg-loft
samling

Måling af luftgennemgangen ved væg-loft samling viste klart, at en sådan samling ville tillade en væsentlig luftopstrømning i tagrummet. Denne luftopstrømning kan kun undgås, hvis konstruktionen udføres således, at folien i loftkonstruktionen får forbindelse med det lufttætte og/eller damptætte lag i vægkonstruktionen.

Isoleringsla-
gets tykkelse

Ud over målinger med 200 mm isolering oven på dampspærren blev der foretaget målinger med 75 og 150 mm isolering. Her kunne det konstateres, at luftgennemgangen ved overlæg og revner formindskes ved øget isole-

ringstykkelse. Det var dog ikke muligt at påvise, om dette forhold skyldes, at øget vægt af isoleringslaget presser overlæggene sammen, eller om det var fordi, der også var en vis luftmodstand i selve isoleringsmaterialet.

 Opstrømmende fugtmængde i tagrummet

Utætheder

I et 120 m² hus med en rimelig god udført dampspærre vil der skønsmæssigt være utætheder som angivet i figur 27. Den luftmængde, der strømmer op gennem utæthederne ved en trykforskel på 3 Pa, fås af figur 26, og den samlede luftmængde er beregnet i figur 27 til 60 m³/h.

Hvis væg-loft samlingen ikke er udført med lægte eller anden tætning, vil opstrømningen af luft i tagkonstruktionen være omkring 300 m³/h.

Fugtindhold

Hvis rumluften for eksempel er 22°C, 50% RF, indeholder den 10 g vand/m³, figur 28. Når denne luft afkøles til 0°C i det ventilerede hulrum i taget, afgiver den ca. 5 g vand/m³ der enten skal ventileres bort eller kondensere på kolde flader, for eksempel af træ.

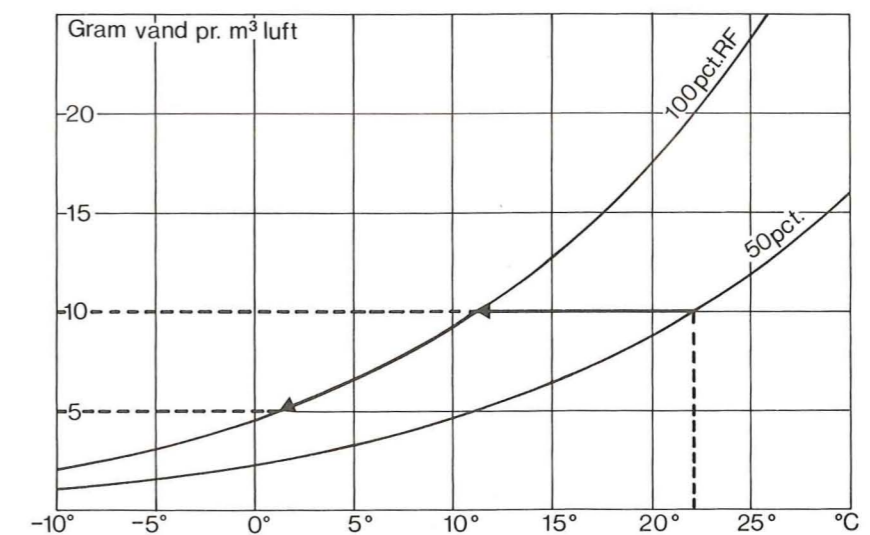
Udeluft, der er 2°C, kan indeholde 5 g vand/m³, figur 28. Hvis den relative luftfugtighed ude er 90%, kan udeluften optage 10% af 5 g, dvs. 0,5 g vand/m³ luft.

Ventilationsmængde

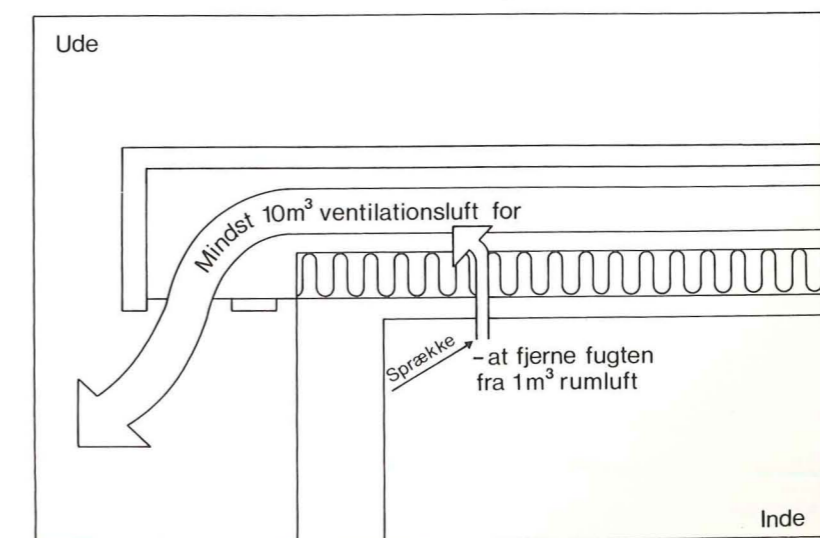
For at fjerne de 5 g vand, der afgives af 1 m³ opstrømmet indeluft, skal der derfor ventileres med 10 m³ udeluft, figur 29. For at fjerne fugtmængden fra et 120 m² hus med en almindelig udført dampspærre, skal der være en ventilation i hulrummet på 600 m³/h, dvs. ca. 35 m³ ventilationsluft pr. m tagfod pr. time.

50 m væg-loft samling med lægte	50 x 0,5 m ³ /h = 25 m ³ /h
85 m overlæg med lægte	85 x 0,1 m ³ /h = 8,5 m ³ /h
3 x 4 stk. 200 mm revner	3 x 0,5 m ³ /h = 1,5 m ³ /h
3 x 20 stk. sømhuller	3 x 0,3 m ³ /h = 0,9 m ³ /h
5 m gennemføringer (ovenlys, ventilation, skorsten mm.)	5 x 5 m ³ /h = 25 m ³ /h
Luftstrøm i alt	60 m³/h

Figur 27. Luftmængde der skønsmæssigt strømmer gennem en rimelig god udført dampspærre i et 120 m² hus.



Figur 29. For at fjerne fugten fra 1 m³ rumluft ved 22°C, 50% RF, der strømmer op i en tagkonstruktion, skal der ventileres med 10 m³ udeluft ved 2°C og 90% RF.



Figur 28. Vanddampdiagram hvoraf ses, at 1 m³ rumluft ved 22°C, 50% RF, afgiver 5 g vand ved nedkøling til 2°C.

Diffusion

Den fugtmængde, der diffunderer op igennem loftkonstruktionen pr. time, fås af formlen

$$g = \frac{1}{Z} \cdot \Delta p \cdot t \cdot A$$

hvor Z er dampdiffusionsmodstandstallet for plastfolien
= 250 GPa s m²/kg

Δp er damptryksforskellen, der fås af:

inde: 22°C, 50% RF => p = 1322 Pa

ude: 0°C, 90% RF => p = 550 Pa => $\Delta p = 772$ Pa

t er tiden = 3600 s og

A er arealet = 120 m².

Fugttransporten g bliver

$$g = \frac{1}{250 \cdot 10^9} \cdot 772 \cdot 3600 \cdot 120 \cdot 10^3$$

$$= 1,3 \text{ g/h.}$$

Denne fugtmængde er meget lille i forhold til den fugtmængde på 300 g/h, der afgives af opstrømmet fugtig rumluft. Denne fugtmængde fås på følgende måde: Der strømmer 60 m³ rumluft op, hver m³ luft indeholder 5 g overskydende vand, og dermed tilføres hulrummet 60 · 5 = 300 g overskydende vand pr. time.

 Summary

SBI Report 153: Pressure conditions in flat roofs

Convection

Moisture problems in flat roof structures are often caused by hot, moist air penetrating into the roof structure from the rooms below. This flow, also known as convection, will occur when the lower surface of the roof structure is not thoroughly airtight.

Airtightness

Generally it is the vapour barrier that has to provide the required airtightness. If the joints in the vapour barrier - also at walls and at points where installations are penetrating the ceiling - are not carefully sealed, large volumes of air from the rooms will ascend into the roof space. When the warm and moist air reaches the cold roof space, it will cool down and give off excess moisture. This moisture will have to be removed by ventilation with outside air to prevent it from accumulating in materials that are able to absorb moisture.

Pressure difference

The upwards flow of air occurs because the pressure of the air in the rooms is higher than in the roof space. This pressure difference is due to the stack effect and is, incidentally, increased by the suction on the roof surface produced by wind.

Maximum pressures

The pressure conditions recorded in the literature derive from measurements of pressure (suction) on the actual roof surface and are maximum values applied in static calculations for the design of roof structures.

Usual pressures

For the evaluation of a roof structure with a view to moisture problems such maximum pressure values are without significance. For this purpose it is important to know the average pressure conditions within the roof structure as compared to those in the rooms below.

Aim It has been the aim of the present project to develop a method of measuring pressure conditions within and immediately above a flat roof structure and to record pressure conditions in a number of roofs ventilated in different ways, figs 3-6.

Types of ventilation Measurements were carried out in the roof above a swimming pool, figs 7 and 8, which was divided into six sections with different types of ventilation:

- No ventilation (roof space closed at roof edges)
- Ventilation from roof edge to roof edge
- Ventilation from roof edge to roof vent
- Ventilation from roof vent to roof vent
- Pressurizing of roof space by means of a fan.

In addition there was a sixth section with so called zero-energy components without ventilation, figs 9-11. Zero-energy components are solid sandwich components with a core of dense mineralwool.

Measuring points From three to eight pressure measuring points were established within each section, figs 12 and 13. Measurements were made through small plastic tubes that were lowered into the roof space through the vents, figs 14 and 15. The pressures were recorded by a datalogger and pressure transducers, figs 16 and 17.

Measuring period Pressures in the roof structure and suction on the roof surface were recorded throughout protracted periods from the autumn of 1980 to the spring of 1982, figs 18-20.

Measurements of moisture During the same period the moisture contents in the roof structures were measured, and these measurements showed that, with the exception of the pressurized roof, too much moisture was absorbed in all structures, the moisture content exceeding the limit above which rot and fungal attacks may set in.

No ventilation In the two roof structures without ventilation it was impossible to arrive at a picture of the pressure conditions, as the measurements varied so much that no interpretation was possible.

Natural ventilation In the three ventilated roof structures the pressure was always lower than in the rooms below. The pressure

difference varied throughout the structure (smallest difference at the wind side, greatest at the lee side), on an average it was about 3 Pa during the winter when there are condensation hazards, figs 22-24.

Pressurized roof

In the pressurized section the pressure throughout the roof space was higher than in the rooms below, and the structure did not absorb moisture. However, this is an energy-consuming type of ventilation that cannot be generally recommended, fig. 25.

Upwards flow of air

In addition the report gives the results of a number of laboratory measurements of the volumes of air that pass through joints and leaks in a vapour barrier under varying pressure conditions, fig. 26.

Calculations of the possible flow of air upwards into the roof space in a 120 m² house with a reasonably good vapour barrier give a volume of air of about 60 m³/h. To remove the moisture from this volume of air it is necessary to ventilate with at least 600 m³ of outside air per hour, corresponding to about 35 m³ per metre of roof edge per hour, figs 27-29.

Airtight ceilings

The results of the examinations confirm that it is important to make airtight ceilings in order to prevent condensation in the roof spaces with the consequent absorption of moisture by any structural members of wood in the roof.

Roof vents

Since the suction on the roof surface is higher than the pressure difference between roof space and rooms below, vents in the roof combined with a leaky ceiling will further increase the risk of moisture absorption.

Litteratur

- (1) Ventilation af flade tage, Slutrapport fra Teknologirådsprojekt, COWiconsult, Publ. nr. 442, december 1983.
- (2) Kondensproblemer i tage, Georg Christensen, SBI-særintryk 302, 1982.

I denne rapport redegøres der for måling af trykforholdene i taghulrummet i en flad ventileret tagkonstruktion med forskellige former for stern- og hætte-ventilation. Målingen er gennemført i et forsøgstag over en større svømmehal. Målingerne viste at der var undertryk i taghulrummet i forhold til det underliggende rum. Dette undertryk medfører en betydelig risiko for, at fugtig luft strømmer op gennem eventuelle utætheder i loftets dampspærre og kondenserer i taghulrummet. Rapporten henvender sig især til projekterende. Projektet er gennemført inden for rammerne af energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling.