



# LUND UNIVERSITY

## Fuktdimensionering av träkonstruktioner : riskanalys

Nevander, Lars Erik; Elmarsson, Bengt

1991

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Nevander, L. E., & Elmarsson, B. (1991). *Fuktdimensionering av träkonstruktioner : riskanalys*. (BFR Rapport; Vol. 1991:R38). Byggnadsrådet (BFR).

[http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/BFR-publ/BFR\\_1991-R38.pdf](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/BFR-publ/BFR_1991-R38.pdf)

*Total number of authors:*

2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

**Rapport**

**R38:1991**

**Fuktdimensionering av  
träkonstruktioner**

**Risikanalys**

**Lars Erik Nevander  
Bengt Elmarsson**

**Byggforskningsrådet**

R38:1991

**FUKTDIMENSIONERING  
AV TRÄKONSTRUKTIONER**

**RISKANALYS**

**Lars Erik Nevander  
Bengt Elmarsson**

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850871-4 och 890828-0 från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds tekniska högskola samt Lars Erik Nevander HB, Lund.

## REFERAT

Projektet avser att anvisa metoder för att beräkna eller bedöma risken för fuktskador, särskilt i träkonstruktioner.

Rapportens innehåll: Allmänt om riskanalys med händelse-träd, felträd, ekonomisk värdering m m. Statistiska beräkningar av fukttillstånd med Monte Carlo-metoden. Träets motståndsförmåga mot mögelangrepp som stokastiskt fenomen. Fuktpåverkan genom fuktdiffusion, fuktkonvektion m m. Beräkning av risk för mögelangrepp på träregelvägg. Inverkan av årstid, ångspärr, isolertjocklek. Parameterstudie av inverkan av faktorer vid mera komplicerade beräkningsfall, exemplifierat på takpanel över vindsutrymme. Kvalitativ bedömning av risker, tillämpat på en träsyll. Diskussion av riskbegreppet, inverkan av grova fel samt beräkningarnas giltighet.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R38:1991

ISBN 91-540-5350-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**gotab** 93891, Stockholm 1991

## INNEHÅLL

<b>Förord</b>	3
<b>Innehåll</b>	5
<b>Sammanfattning</b>	7
<b>Summary</b>	8
<b>Beteckningar</b>	9
<b>1 FUKTDIMENSIONERING</b>	11
1.1 Allmänt	11
1.2 Vem har felat?	12
1.3 Principer för fuktdimensionering	14
<b>2 RISKANALYS</b>	16
2.1 Mått på risk	16
2.2 Klassisk riskanalys	16
2.3 Möjlighetsanalys	19
2.4 Riskidentifiering. Skadetyper och fuktkriterier	20
2.5 Riskbestämning	26
2.5.1 Beräkning av fuktskaderisk	26
2.5.2 Beta-metoden	27
2.5.3 Samband mellan risknivå och dimensionerande fukttillstånd	29
2.6 Riskvärdering	32
2.6.1 Primära skador	32
2.6.2 Sekundära skador	35
<b>3 BERÄKNING AV FUKTTILLSTÅND</b>	37
3.1 Beräkningsmetoder. Monte Carlo-metoden	37
3.2 Materialdata	40
3.3 Klimatdata. Randvillkor	41
3.3.1 Temperatur och fuktighet utomhus	41
3.3.2 Temperatur och fuktighet inomhus	41
3.3.3 Solinstrålning, nattutstrålning och värmeövergångskoefficient	43
3.3.4 Övriga	44
3.4 Diffusionsförlopp	45
3.4.1 Allmänt	45
3.4.2 Endimensionella stationära beräkningar. Monte Carlo-metoden	46
3.4.3 En- och två-dimensionella, stationära och icke-stationära beräkningar	47
3.5 Fuktkonvektion	47
3.6 Regn och snö	54
3.6.1 Regn	54
3.6.2 Slagregn	54
3.6.3 Snö och yrsnö	57
3.7 Läckage från installationar	57
3.8 Markfukt	57

4	TRÄREGELVÄGGAR	61
4.1	Diffusionsberäkning. Året runt	61
4.2	Inverkan av försämrad ångspärr	66
4.3	Inverkan av isolertjocklek	67
4.4	Indragen ångspärr	68
5	TAKPANEL ÖVER KALLVIND	70
5.1	Energi- och fuktbalanser	70
5.2	Stationära fall	70
5.3	Icke-stationära fall	75
6	KVALITATIV BEDÖMNING AV RISK	77
7	DISKUSSION	79
7.1	Riskbegreppet	79
7.2	Mögel	80
7.3	Vilken risk skall vi tillåta	80
7.4	Grova fel	81
7.5	Giltighet	81

## Litteratur

Bilaga A	Materialdata
Bilaga B	Klimatdata
Bilaga C	Solinstrålning
Bilaga D	Uppskattning av övertryck inomhus

---

## FÖRORD

Under de senaste 20 åren har vi haft mycket fuktskador i Sverige t ex röta i fönster och fukt i grundkonstruktioner som medfört mögelväxt och mögellukt. Under de allra senaste åren har dessutom tillkommit "sjuka hus"-problemen som också anses ha stark koppling till fukt.

De många fuktskadorna visar att vi omedvetet tagit alldeles för stora risker i ambitionen att pressa kostnaderna. Om man genom en riskanalys kan bedöma riskerna för olika typer av skador kan man dels vidta åtgärder mot de största riskerna, dels beräkna en riskkostnad för olika konstruktioner. En sådan riskkostnad bör rimligen ingå i totalkostnaden för en konstruktion och därigenom komma att påverka valet av konstruktion.

Avsikten med detta projekt har varit att försöka finna en metod för att beräkna och bedöma riskerna för fuktskador i träkonstruktioner, särskilt risken för mögeltillväxt. Någon fullständig riskanalys för olika träkonstruktioner har inte utförts främst därför att sannolikheterna för olika typer av fuktpåverkningar är alltför dåligt kända.

Alla beräkningar har utförts av Elmarsson. En del som inte ingår i denna rapport kommer att publiceras på annat sätt.

Den grundläggande fukt fysiken förutsätts vara känd för läsaren och kan studeras i Fukthandboken (Nevander & Elmarsson 1981). Nomenklatur och beteckningar överensstämmer i huvudsak med Fukthandboken.

Vi tackar Lars Sentler för värdefulla informationer om riskanalys och alla andra som bidragit med synpunkter och särskilt mykologerna Jonny Bjurman, Nils Hallenberg, Björn Henningsson och Arne Hyppel för deras medverkan att få fram en mögelkurva. Fuktgruppen i Lund har också medverkat med en stimulerande diskussionsmiljö och med många synpunkter. Vi tackar också vår skickliga sekreterare på Byggnadsfysik, LTH, Birgitta Salmi som överfört manuskriptet till ordbehandlare.

Arbetet har bekostats genom anslag 850871-4 från Statens Råd för Byggnadsforskning till institutionen för Byggnadsteknik, LTH och anslag 890828-0 till Lars Erik Nevander HB, Lund.

Lund i februari 1991

L E Nevander

Bengt Elmarsson





## SAMMANFATTNING

Fuktskaderiskerna har ofta försumrats eller undervärderats. Man vill därför gärna införa en fuktdimensionering så att vederbörlig hänsyn tas till fukten redan på projekteringsstadiet. En fuktdimensionering innehåller två moment - att beräkna, uppskatta eller bedöma framtida fukttillstånd och att jämföra dessa med något tillåtet värde.

Fukttillstånden beror på ett stort antal parametrar som klimat ute och inne, konstruktionens utförande och ingående materials egenskaper. Alla dessa kan variera avsevärt.

Vid en del enklare beräkningar, t ex diffusionsberäkningar, kan man ta hänsyn till dessa variationer genom att använda den så kallade Monte Carlo-metoden som innebär att man gör ett stort antal beräkningar - ca 1000. I varje beräkning låter man varje parameter slumpmässigt anta ett värde inom sin frekvensfördelning. Man får på det sättet ett stort antal värden på fukttillståndet ifråga och man kan beräkna sannolikheten för olika fukttillstånd.

Dessa fukttillstånd måste sedan jämföras med vad som kan tillåtas. För trä är ofta mögelangrepp dimensionerande eftersom mögel kan tillväxa vid tämligen låga relativa fuktigheter. Även mögelangreppen är emellertid litet slumpartade. Grundat på resultat från STU-projekt och i samarbete med mykologer har därför en "mögelkurva" tagits fram som visar risken för mögeltillväxt på trä vid olika relativ fuktighet eller fuktkvot, figur 2.5. Kurvan är emellertid osäker särskilt för de lägre temperaturerna.

Av sannolikheten för olika fukttillstånd och sannolikheten för mögeltillväxt kan man räkna ut risken för mögeltillväxt i den aktuella konstruktionen.

Inverkan av fuktkonvektion, slagregn och markfukt är svårare att behandla på detta sätt eftersom randvillkoren är mycket sämre kända.

I kapitel 4 redovisas diffusionsberäkningar för en vanlig träregelvägg. I beräkningarna har inverkan av solstrålning medtagits. Risken för mögeltillväxt blir större för norrväggen än för söderväggen och större i södra Sverige än i norra Sverige. Risken blir störst i september enligt beräkningarna. Dessutom redovisas inverkan av försämrade ångspärr, isolertjocklek och indragning av ångspärren.

Om beräkningarna blir mera omfattande blir det svårare att använda Monte Carlo-metoden. I kapitel 5 redovisas stationära och icke-stationära beräkningar av fukttillståndet i takpanelen ovanför en kallvind. Genom parameterstudier kan man få en uppfattning om olika inverkan av faktorerens betydelse. För sådana tak är en kombination av luftläckage inifrån och dålig ventilation av vindsutrymmet särskilt kritisk. Den fuktmagasinerande förmågan hos takpanelen synes inte ha så stor inverkan.

När man inte kan beräkna fukttillstånden numeriskt kan det vara värdefullt att göra kvalitativa bedömningar av risken för fuktskador. Ett exempel på en sådan bedömning ges i kapitel 6.

Rapporten avslutas med en diskussion av riskbegreppet, inverkan av tiden på mögelrisken, grova fel och beräkningarnas giltighet. Vilken risk man kan tillåta beror bl a på ekonomiska konsekvenser, hälsorisker samt sociala och psykologiska faktorer.

Syftet med detta projekt har varit att anvisa möjliga metoder för att beräkna eller bedöma risken för fuktskador särskilt i träkonstruktioner. En bättre kännedom om alla indata är önskvärd för att riskanalysen skall bli mera användbar. Det är emellertid bättre att försöka använda befintlig kunskap än att inte göra något alls.

## SUMMARY

In recent years a large number of moisture damages indicates that we in Sweden have taken two large risks in building construction in the ambition to cut down costs. The risks of moisture damages have often been neglected or underestimated. Therefore, there is need to introduce a "moisture design" so that proper concern is attributed to the moisture already in the design stage. A moisture design comprises two elements. The first is to calculate, estimate or judge the future conditions and the second to compare these conditions with some permissible values.

The moisture conditions depend upon a large number of parameters e.g. outdoor and indoor climate, properties and combinations of the materials used and the design and execution of the building. All these can vary considerably.

In some simpler calculations, e.g. water vapour diffusion calculations, these variations can be considered by using the Monte Carlo-method, which means that a large number of calculations are made. In each calculation each parameter is given a value by random within its frequency distribution. In that way a large number of values for the particular moisture condition is obtained and the probability for different moisture conditions can be estimated.

These moisture conditions should then be compared with permissible values. Mould growth is often the determining factor for wood as it can develop at rather low relative humidities. Based on other Swedish research projects a "mould curve" for wood has been elaborated showing the risk for mould growth at different relative humidities or moisture contents, figure 2.5. The curve is, however, rather uncertain specially for low temperatures.

The risk for mould growth in a particular construction can then be calculated using the probability of different moisture conditions and the mould curve.

The influence of moisture convection, driving rain and ground water is more difficult to treat in this way as the boundary conditions are less known.

In Chapter 4 diffusion calculations for an ordinary wood stud wall is reported. The influence of solar radiation is considered. The risk for mould growth is larger for walls facing north than for those facing south and larger in southern Sweden than in the north. According to the calculations the risk is largest in September. The effects of reduced vapour barrier, insulation thickness and placing of the barrier are also reported.

In cases with more complicated calculations it is less suitable to use the Monte Carlo-method. Stationary and non-stationary calculations of the moisture conditions in an attic are reported in Chapter 5. By parameter studies one can estimate the importance of different factors. Leakage of indoor air combined with insufficient ventilation of the attic seem to be particularly critical. The moisture absorbing capacity of the wooden roof panel does not seem to have any significant effect.

In cases where it is not possible to calculate the moisture conditions numerically it might be valuable to make qualitative estimations of the risk for moisture damages. An example is given in Chapter 6.

The report is concluded with a discussion of the risk concept, acceptable risks, influence of time on mould growth risk, gross errors, and the validity of the calculations.

The object of this project has been to indicate possible methods of calculating or estimating risks of moisture damages particularly in wooden structures. In order to increase the benefit of risk analyses a better knowledge of in-put data is desirable. However, it is better to try to use the present knowledge than to do nothing.

## BETECKNINGAR

<i>A B C D E</i>	händelser, sannolikhet	
<i>R</i>	förmåga att motstå fukt	
<i>S</i>	fuktpåverkan	
<i>M</i>	säkerhetsmarginal	
<i>A</i>	area	
<i>a</i>	absorptionsfaktor för kortvågig strålning	
<i>d</i>	tjocklek	m
<i>D</i>	kapillär ledningskoefficient	m <sup>2</sup> /s
<i>g</i>	fuktflödestäthet	kg/(m <sup>2</sup> ·s)
<i>G</i>	lagrad fukt mängd	kg/m <sup>2</sup>
<i>h</i>	höjd	m
<i>I</i>	kortvågig strålning	W
<i>K</i>	luftpermeans	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·s·Pa)
<i>m</i>	medelvärde	-
<i>n</i>	luftomsättning	oms/h
<i>p</i>	ångtryck, lufttryck	Pa
<i>q</i>	luftflöde	m <sup>3</sup> /s
<i>r</i>	luftflödestäthet	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·s)
<i>R</i>	värmemotstånd	m <sup>2</sup> ·K/W
<i>T</i>	Celsiustemperatur	°C
<i>u</i>	fuktkvot	-
<i>u</i>	vindhastighet	m/s
<i>v</i>	ånghalt	kg/m <sup>3</sup>
<i>V</i>	volym	m <sup>3</sup>
<i>w</i>	fukthalt	kg/m <sup>3</sup>
<i>x</i>	längdkoordinat	m
<i>x</i>	storhets måttetal	-
<i>Z</i>	ångenomgångsmotstånd	s/m
$\alpha$	värmeövergångskoefficient	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$\beta$	säkerhetsindex	-
$\delta$	ångpermeabilitet	m <sup>2</sup> /s
$\varphi$	relativ fuktighet, RF	-
$\phi$	fördelningsfunktion	-
$\lambda$	värmeledningsförmåga	W/(m·K)
$\mu$	formfaktor	-
$\sigma$	standardavvikelse	-
$\rho$	densitet	kg/m <sup>3</sup>

## INDEX

<i>i</i>	inne
<i>FT</i>	fukttillskott
<i>kond</i>	kondensation
<i>konv</i>	konvektion
<i>ℓ</i>	läckflöde av luft
<i>s</i>	mättnad
<i>s</i>	strålning
<i>u</i>	ute
<i>v</i>	vindsutrymme

Beteckningarna stämmer i huvudsak med svensk standard SS 024201 och SS 024203.

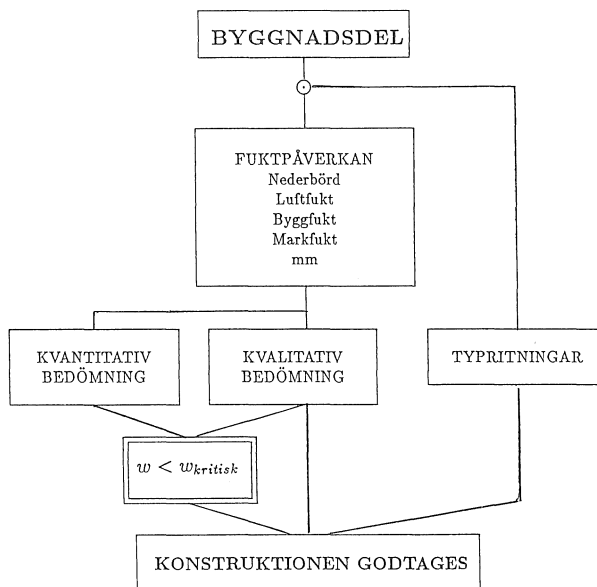
# 1 FUKTDIMENSIONERING

## 1.1 Allmänt

När man bestämmer utformningen av en byggnadsdel måste man ta hänsyn till många olika aspekter såsom ekonomi, utseende, bärförmåga, värmeisolering, ljudisolering, brandskydd etc. Även fukt hör till de aspekter som måste beaktas, men vanligen är det inte fuktaspekter som är primärt styrande vid val av konstruktion. Ofta tar man hänsyn till fuktaspekterna genom att komplettera konstruktionen med t ex en fuktspärr för att hindra uppsugning av fukt eller en luftspalt för att hindra slagregn att slå igenom. Ofta gör man ingenting utan accepterar en konstruktion som man använt tidigare, även om förutsättningarna kan ha ändrats.

Vid statisk dimensionering görs oftast noggranna beräkningar. Ingen accepterar att man låter bli att göra en beräkning och i stället gör alla betongplattorna i en husbyggnad 16 cm tjocka med rutarmering  $\varnothing 8$  c 200 med motiveringen att det brukar hålla då (- och säkerligen inte heller skulle leda till brott).

Man skulle önska att man liksom vid statisk dimensionering alltid gjorde en fuktdimensionering. Med fuktdimensionering avses enligt Sandberg (1989) ”de åtgärder som skall säkerställa att byggnaden inte får skador eller olägenheter som orsakas direkt eller indirekt av fukt”. Harderup (1991) illustrerar fuktdimensionering enligt figur 1.1.



Figur 1.1. Fuktdimensionering enligt Harderup (1991).

Att dimensionera för fukt är emellertid inte enkelt. Klimatet ute (t ex slagregn) varierar kraftigt, begynnelsevillkoren är ospecificerade (regn på byggnadsplatsen), materialdata är osäkra och i vissa fall kan man inte med en formel säkert beskriva en

fuktttransport. Även om man lyckas beräkna ett fukttillstånd kan det vara svårt att avgöra om det är acceptabelt eller inte. Det är inte bara fråga om ett bestämt värde på en fukthalt utan också varaktigheten och samtidig temperatur. Dessutom tillkommer frågan om vilken riskbegränsning man skall använda och hur man skall beräkna den.

Svårigheterna får inte medföra att man inte gör någonting alls. Det minsta man kan begära är att projektören funderar igenom hur konstruktionen skall kunna motstå de fuktpåverknningar som uppkommer under byggnadstid och under brukstid. Handlingarna bör vidare innehålla instruktioner så att den avsedda funktionen erhålls.

Var och en kan konstatera att vi har haft alldeles för mycket fuktskador i Sverige under den senaste tiden. På trä och träkonstruktioner har det förekommit röta i fönster, mögelpåväxt och mögellukt i grundkonstruktioner, röta och mögel på träfasader m m.

Avsikten med detta projekt är att studera metoder att fuktdimensionera träkonstruktioner på ett sådant sätt att riskerna för att skada eller olägenhet kan uppskattas kvantitativt.

## 1.2 Vem har felat?

I tre studier - en i England och en i Belgien och en vid Statens Institut för Byggnadsforskning i Gävle - refererade av Bergström (1989) har man studerat hur byggfelen och skadorna uppkommit. Studierna ger mycket likartat resultat och visar i runda tal följande fördelning

Projekteringsfel	50%
Materialfel	10%
Utförandefel	25%
Övrigt. Bl a påverkan av brukaren	15%

Dessa tal avser alla typer av fel och skador - även inom anläggningssektorn. Det finns anledning att anta att när man begränsar sig till fuktskador andelen projekteringsfel ökar. Lorentzen (1988) har angivit 80% projekteringsfel, och denna siffra förefaller rimlig.

Projekteringsfel kan ha haft följande orsaker

Brist på kunskap. Härmed avses att kunskapen inte har funnits. Man kan hävda att före 1970 ingen visste att mögel kunde förekomma i byggnader på sådant sätt som senare visade sig och att det kunde föranleda så stora olägenheter. Möglet som sådant var känt men dess effekt på byggnader var okänd. Man kan inte heller utesluta att miljöförändringar har medfört förändringar av skadebilden.

Ej använt befintlig kunskap. Detta kan dels bero på bristande ambition att tillgodogöra sig tillgänglig kunskap, dels på att senaste forskningsresultat inte hunnit nå ut till den praktiskt verksamme projektören.

Ej insett problemen. Har man inte kunskap är det svårt att bedöma när man har problem. Fuktkonvektion har ofta helt försumrats.

Tagit för stora risker. För att pressa kostnaderna har man förenklat konstruktionerna mer och mer. När man samtidigt inte har haft möjlighet att beräkna någon skaderisk har man inte kunnat veta hur långt man kunde gå. Uppenbarligen har vi i Sverige kommit ned under den acceptabla säkerhetsnivån.

Felaktiga data. Många klimatdata och materialdata är fortfarande ofullständigt kända. Det finns därför stor risk att man använder fel data även när man har ambitionen att göra en seriös fuktdimensionering.

Olämpliga normer. Vissa normer, anvisningar och typgodkännande har varit olämpliga. På grund av sin status har de dock påverkat projektörens val av konstruktion.

Materialfel kan vara av olika slag men ibland kan det vara svårt att skilja mellan projekteringsfel, materialfel och utförandefel. Ex. När det visade sig att vissa material till kapillärbrytande skikt inte var tillräckligt kapillärbrytande kunde man anse det vara ett materialfel. Om man nu inte föreskriver kontroll av den kapillära stighöjden får det betraktas som ett projekteringsfel. Om kontrollen inte blir utförd på arbetsplatsen blir det ett utförandefel.

Det förekommer emellertid rena materialfel, bl a av följande typer.

Tillverkningsfel. Sprucket virke eller hål och revor i folier. Material med sådana fel byggs normalt inte in i konstruktionen. Bakterieangrepp på virke under lagring före sågning medför ökad och framförallt varierande permeabilitet, vilket medför att en lasering blir flammig.

Ej uppfyllt gällande specifikation. Fasadtegel eller taktegel med otillräcklig frostbeständighet. Vindskyddspapp med större ångmotstånd än vad som anges i Svensk standard.

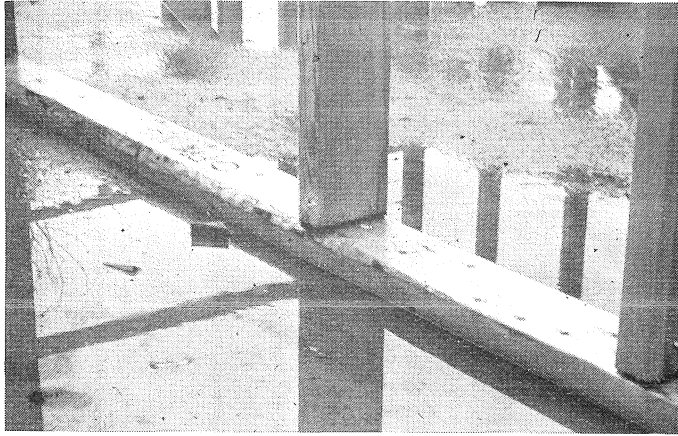
Utförandefel kan vara av följande slag.

Ej följt handlingar. Kan bero på slarv eller fusk ofta kombinerat med okunskap om möjliga konsekvenser. Tidspress kan medföra att man känt sig tvungen att avvika från handlingarna.

Dålig kontroll. Dels av eget arbete, dels av mottagna varor. Hur ofta har det förekommit tidigare att man mätt fuktkvoten hos levererat virke?

Missriktad ambition. Det har förekommit att man för att ”förbättra konstruktionen” lagt på ett extra tätskikt, men istället stängt in fukten med skador som följd.

Dåligt skydd mot vatten på arbetsplatsen. Material och pågående bygge måste skyddas mot regn och snö så att inte byggnaden startar med ogynnsamma begynnelsevillkor, Hanson (1989), figur 1.2. Kan man inte åstadkomma fullständigt skydd måste man ordna särskild torkning. Även byggfukt i betong måste få erforderlig torktid.



Figur 1.2. Blötlagd syll. Foto: Tore Hansson.

### 1.3 Principer för fuktdimensionering

Både den kvantitativa beräkningen och den kvalitativa värderingen baseras på den klassiska fuktmekniken.

Man utgår från fuktkällorna som utgör belastningen eller påverkan på konstruktionen. För att finna de kritiska fuktillstånden måste man räkna både med långtidsmedelvärden och extrema värden, samt dessutom flera olika kombinationer. Temperaturförhållandena inkl solstrålning är också viktiga randvillkor.

Fuktransporten i en konstruktion kan bero på flera olika fysikaliska förlopp, såsom diffusion, konvektion, kapillärsugning, tyngdkraft, vindtryck. Därjämte inverkar temperaturtillståndet både direkt och indirekt på fuktransporten. Det är därför flera olika fuktförlopp som måste beaktas.

Därefter skall man avgöra om de tänkbara fuktillstånden kan accepteras. Detta beror inte bara på fukthalten utan även på samtidigt rådande temperatur och på tillståndets varaktighet. För trä är det särskilt vanskligt eftersom gränsvärdet för mögelpåväxt är osäkert. Risken för biologiska angrepp beror säkerligen även på andra faktorer men tillräckligt med fukt är en nödvändig förutsättning.

Vid kvantitativa beräkningar kan man göra beräkningarna för stationära eller icke-



stationära förhållanden eller i vissa fall blandningar så att man t ex räknar temperaturen stationärt och fukten icke-stationärt. Under alla förhållanden erfordras kvantitativa data för randvillkor, begynnelsevillkor och materialdata.

Försöker man räkna ut hur många kombinationer av randvillkor, begynnelsevillkor och transportsätt som man egentligen borde beakta i sina beräkningar kommer man till orimliga antal. Man måste därför använda sin erfarenhet för att sälla bort de fall som är mindre betydelsefulla.

Vid en kvalitativ värdering använder man också byggfysikens grunder och kombinerar detta med praktisk erfarenhet. Ofta nöjer man sig med att bedöma hur de olika fuktkällorna inverkar. Man bedömer t ex om byggfukt har möjlighet att torka ut, hur slagregn avvisas, om det finns risk med fuktkonvektion etc.

Det är ett oavvisligt krav att teori och praktik stämmer överens. Gör de inte det har man antingen använt fel teori eller utvärderat de praktiska erfarenheterna fel. Med fel teori behöver inte menas att teorin är felaktig utan att den inte beskriver de viktiga och avgörande förhållandena.

En fuktbedömning kan också baseras på mätningar, antingen på laboratorium eller i fält. De experimentella undersökningar som finns tillgängliga kan inom detta projekt anses ingå i de praktiska erfarenheterna.

## 2 RISKANALYS

### 2.1 Mått på risk

Begreppet säkerhetsfaktor har haft en vidsträckt tillämpning speciellt i samband med hållfasthetsdimensionering av byggnadskonstruktioner. Då frågan om fuktskador kommit på tal har det ibland framhållits att det hittills inte förekommit någon mera systematisk riskbedömning vid utformning av konstruktioner från fuktrisksynpunkt.

Begreppet säkerhetsfaktor kunde också vara användbart vid dimensionering med hänsyn till fukt. Mycket talar emellertid för att det skulle bli ett svårhanterligt mått. En bättre väg torde vara att använda begreppet risk som kan anses vara ett mera direkt mått. Ett argument för detta är att man inom hållfasthetsdimensioneringen håller på att lämna begreppet säkerhetsfaktor till förmån för att i stället tala om exempelvis brottrisk. Med risk förstås då rent allmänt sannolikheten för en oönskad konsekvens.

### 2.2 Klassisk riskanalys

En beskrivning av riskanalys tillämpad på byggnadstekniska problem ges av Sentler (1980) och Andersson & Sentler (1982).

Den klassiska riskanalysen kan indelas i tre avsnitt

- Riskidentifiering
- Riskbestämning
- Riskvärdering

Tillämpning och exemplifiering görs i fortsättningen direkt till fuktdimensionering av träkonstruktion.

Vid riskidentifiering sammanställs alla risker och deras konsekvenser. Riskerna kan vara av tre slag.

Fuktpåverkan kan vara större än man förutsett vid dimensioneringen eller har blivit förbisedd på något sätt, t ex högre luftfukt inomhus än beräknat eller övertryck inomhus.

Byggnadsmaterialens egenskaper kan avvika från vad man förväntat, t ex kapillär-sugning i skikt som antagits vara kapillärbrytande.

Mänskligt felbeteende som kan påverka konstruktionen på flera sätt. Upphovet till felen kan vara allt från okunnighet till medvetet slarv, t ex skadad eller helt utelämnad ångspärr.

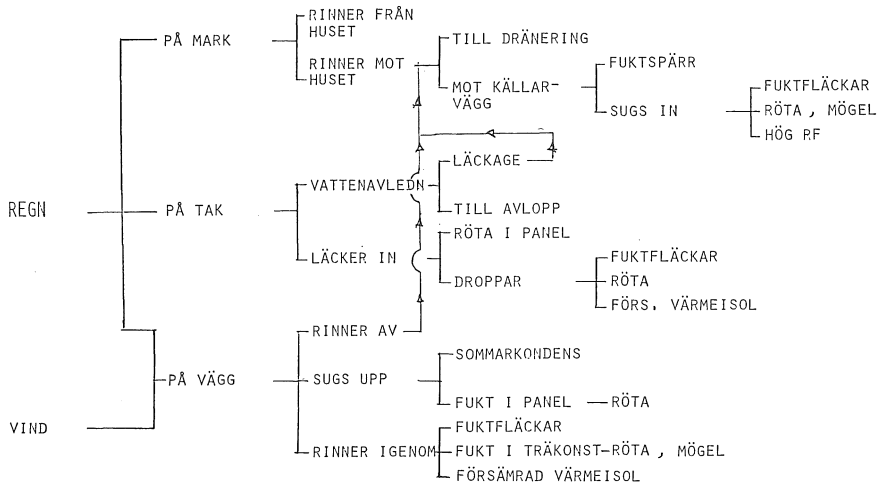
Ofta måste avvikelser av olika slag inträffa samtidigt för att en skada skall uppkomma.

I riskbestämningen gäller det att ange hur stor risken är för att en viss händelse skall leda till en skada eller annan olägenhet. I idealfallet vill man naturligtvis komma till en helt kvantifierad sannolikhet för en sekvens av händelser som leder till en skada. Ofta måste emellertid riskbestämningen grundas på subjektiva värderingar.

I riskvärderingen skall man bedöma vilka risker som kan accepteras. Vi talar i fortsättningen om en acceptabel risknivå. Storleken av denna beror bl a på vilka konsekvenser en skada leder till och hur lätt eller svårt det är att eliminera skadan. Denna bedömning kan baseras på tekniska, ekonomiska och inte minst sociala överväganden. Riskvärderingen kan ligga till grund för de krav som man har anledning att ställa för att eliminera eller kontrollera riskerna.

I riskanalysen arbetar man ofta med "händelseträd" och "felträd".

Ett händelseträd visar hur en händelse påverkar en eller flera konstruktioner. I figur 2.1 visas ett händelseträd för regn på en byggnad.



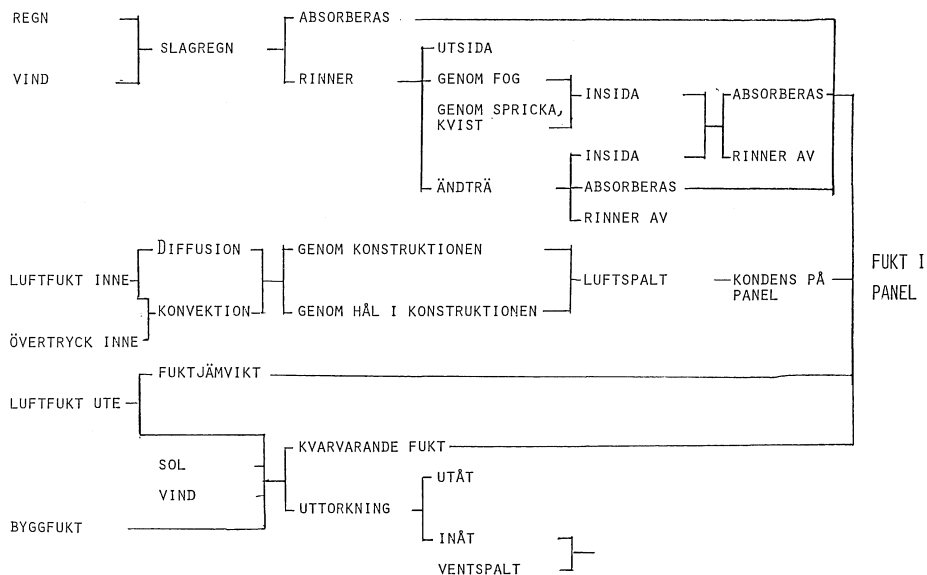
Figur 2.1. Händelseträd. Inverkan av regn på en byggnad med utvändig träpanel.

Man ser att regn kan påverka på många sätt. Mest intressant i detta speciella diagram är kanske att regnvatten kan ledas mot källarväggen, via taket och via väggen.

Oftast studerar man emellertid en byggnadsdel eller en komponent i en byggnadsdel och då kan det vara mera intressant att rita händelsträd som visar hur olika händelser kan inverka på en byggnadsdel eller en komponent. Ett sådant händelseträd för fukt-tillståndet i en träfasadpanel visas i figur 2.2.

Genom att läsa händelseträdet från höger till vänster får man information om tänkbara orsaker till fukttillståndet i panelen. Vid sådan användning skulle det kunna kallas orsaksträd.

Även om ett sådant händelseträd är ganska komplicerat ger det endast kvalitativ information om händelser som kan leda till oönskade konsekvenser. För att kunna beräkna fuktkvoten i panelen och dess statistiska fördelning måste man ha tillgång till en mängd kvantitativa uppgifter om fuktpåverkan. Hur mycket slagregn träffar fasaden, fördelning i tid och intensitet? Hur mycket rinner utefter ytan? Och hur stor sannolikhet är det att virket är sprucket så att vatten kan rinna igenom? Målningens inverkan är ej medtagen. Hur inverkar en osprucken resp en sprucken målningsfilm, och i sistnämnda fall hur stor är risken att målningen är sprucken?

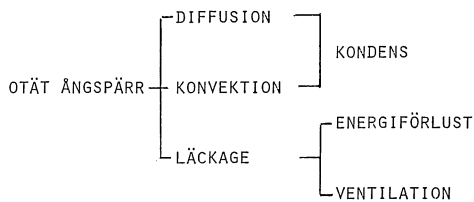


Figur 2.2. Händelsesträd. Inverkan av olika fuktkällor på en byggnadsdel, utvändigt träpanel. Om figuren läses från höger till vänster kan den kallas orsaksträd.

Om vi visste allt detta och mer därtill skulle det nog vara möjligt att göra en någotsånär korrekt riskbestämning som kunde ligga till grund för en riskvärdering. Med stor sannolikhet kommer vi aldrig att få tillgång till en sådan detaljerad information - förhållandena varierar också från hus till hus. I denna information skall också ingå den statistiska variationen i materialegenskaper och risken för fel på grund av mänsklig aktivitet under projektering, byggande och brukande.

Vid riskvärderingen måste man också ta hänsyn till att en viss fuktkvot i panelen kan ha olika konsekvenser beträffande beständighet vid olika temperaturer och olika varaktighet.

Inom riskanalysen brukar man också använda felträd. Ett exempel på ett förenklat sådant visas i figur 2.3.



Figur 2.3. Felträd, förenklat.

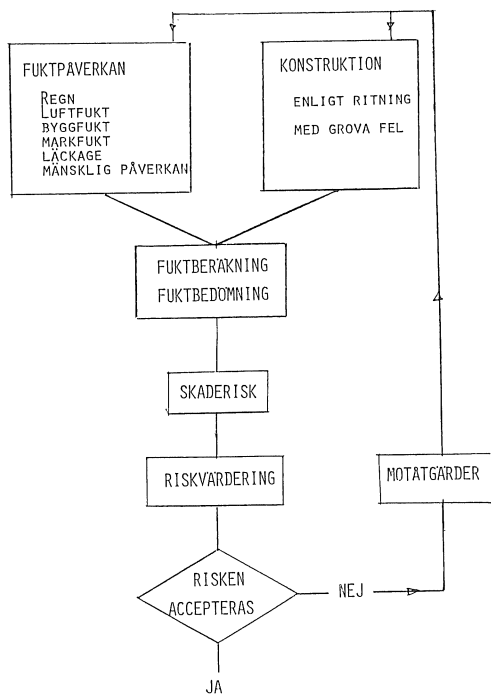
Inom projektet har vi ritat ett stort antal händelsesträd, orsaksträd och felträd för att

se om vi kunde använda den klassiska riskanalysen vid fuktdimensionering av träkonstruktioner. Det har då visat sig att händelseträäd kan ge en kvalitativ information om det fukttekniska skeendet och de kan användas för att identifiera vissa känsliga skeden i händelsekedjan. Bristen på kvantitativ information gör dock att vi inte ansett oss kunna använda fullständiga händelseträäd eller liknande som grund för en riskanalys.

### 2.3 Möjlighetsanalys

Eftersom det inom många områden är svårt att använda klassisk riskanalys har även andra metoder utvecklats. En sådan är möjlighetsanalys, som i stort går ut på att man gör en kvalitativ bedömning av möjliga skeenden som kan resultera i en skada. Den grundläggande filosofin är att det är bättre att ta hänsyn även till ofullständiga informationer än att negligera dem. Det har även skapats en speciell matematik för att behandla sådana data ("fuzzy sets"), se vidare Andersson (1988).

I detta projekt har vi delvis använt oss av en variant av möjlighetsanalys som visas schematiskt i figur 2.4. Detta kan anses vara en utvidgad riskanalys med användning av felträäd.



Figur 2.4. Schema för möjlighetsanalys.

Man utgår från de vanliga fuktkällorna - regn, luftfukt, byggefukt och markfukt.

Därjämte beaktas också annan fuktpåverkan. Läckage från vattenledningar kan t ex ge olika omfattande skador i olika konstruktioner. De boendes aktivitet kan också medföra fuktpåverkan - det finns faktiskt fall där man vattnat sina blomrätter så ihärdigt att byggnaden skadats.

Konstruktionen förutsättes dels vara utförd enligt ritningen dels vara behäftad med grova fel. För den ideala konstruktionen görs fuktberäkningar enligt vanliga oftast stationära metoder men med statistisk spridning av klimatdata, materialdata m m enligt en metod som beskrivits av Nielsen (1987). Metoden innebär att man gör ett stort antal beräkningar, vanligen minst 500, där de ingående parametrarna slumpvis tilldelas ett värde som ligger inom deras respektive fördelningskurva. Av resultatet kan man dels direkt dra statistiska slutsatser, dels avgöra hur olika parametrar inverkar. Metoden beskrivs närmare i kap 3.

För den ideala konstruktionen görs även en del mera avancerade beräkningar, t ex tvådimensionella beräkningar och icke-stationära beräkningar.

Fuktpåverkan av läckage och av mänskligt agerande bedöms subjektivt.

Konstruktioner behäftade med grova fel kan exempelvis vara om en ångspärr är mycket trasig eller om en fuktspärr glömts bort. Effekten av grova fel kan ibland studeras genom beräkningar, men sannolikheten för att grova fel uppstår måste alltid bedömas subjektivt.

Av beräkningar och bedömningar avgörs om konstruktionen kan utsättas för någon skada eller om andra olägenheter kan uppstå.

Effekten av denna skada värderas sedan med hänsyn till ekonomiska, medicinska och sociala faktorer. Om effekten är stor bör en liten acceptabel risknivå väljas. Om risken är större än acceptabel risknivå får man vidtaga motåtgärder. Dessa kan antingen medföra ändringar i konstruktionen, t ex man lägger in en fuktspärr, eller ändringar i fuktpåverkan, t ex man ändrar lufttrycksbalansen så att skadlig konvektion inte kan uppstå.

Schemat för möjlighetsanalysen, enligt figur 2.4, beskriver egentligen också hur man bör göra en korrekt fuktdimensionering av en konstruktion, jämför figur 1. Skillnaden kan sägas vara att vi i den här möjlighetsanalysen noggrannare studerar den statistiska variationen och de möjliga händelserna än vid en vanlig fuktdimensionering.

## 2.4 Riskidentifiering. Skadetyper och fuktkriterier

Genom en fuktdimensionering kommer man i bästa fall fram till en numerisk uppskattning av fukttillstånden i olika delar av byggnaden och möjligen hur de varierar i tiden. Det är emellertid lika viktigt att kunna avgöra om dessa fukttillstånd kan accepteras eller vilka risker de innebär. Detta brukar man kalla fuktkriterier. Nedan följer en diskussion av olika skador på trä och fuktkriterierna för dessa. För andra material förekommer även andra skador såsom frostsador, saltutslag. Skador på grund av överbelastning berörs inte.

För trä och träkonstruktioner i husbyggnader kan följande indelning göras. Endast fuktskador berörs.

## A. Biologiska skador

Trä kan angripas av bakterier, mögelsvampar, blånad, rötsvampar, insekter och av en del större djur.

Bakterier kan angripa träet direkt efter fällningen sommartid och vid en påföljande vattenlagring och därigenom påverka träets permeabilitet, vilket i sin tur kan medföra att träets fuktdata ändras och t ex att en lasyr blir ojämnt infärgad. Detta angrepp sker före sågningen och kan inräknas i träets fysikaliska egenskaper.

Actinomyceter eller strålsvamp räknas också till bakterierna och kan medföra elak lukt men åstadkommer ingen nedbrytning av träet.

Mögelsvampar och blånad medför missfäring men ingen förstörelse av vedcellerna. Blånad kan underlätta ett framtida angrepp av rötsvamp och öka benägenheten för mögelpåväxt.

Olägenheterna med mögel och actinomyceter är framförallt luktavgivningen och sporbildningen och den medicinska och sociala påverkan detta kan ge på de boende. Se vidare punkt B.

Rötsvampar bryter ned vedcellerna och kan därigenom medföra försämrad beständighet, minskad hållfasthet och ökad deformation. Angrepp av rötsvampar kan normalt hindras genom tryckimpregnering.

Insekter kan gnaga hål i trävirke och därigenom påverka hållfasthet och deformation.

En del djur, t ex möss och hackspettar, kan angripa trä men det är av mindre betydelse.

En bra redogörelse för angrepp på trä finns i Träskyddshandboken (Carling m fl 1984), för mögelsvampar även i Gilert & Hallenberg (1984). Samuelsson (1985) ger en översikt över olika skadefall.

Av dessa är mögel, blånad och röta allvarligast. Angrepp av insekter t ex av husbock, kan ske i torrt trä och då kan man inte skydda sig genom fuktdimensionering. En del andra insekter kräver dock fukt i träet men oftast högre fuktkvot än mögel.

Träets fuktkvot eller omgivningens relativa fuktighet är avgörande för om ett biologiskt angrepp skall kunna sätta igång och kunna fortgå.

För rötsvampar krävs fritt vatten för sporernas groning och därefter fuktkvot 30-120% för tillväxt och nedbrytning. Åkta hussvamp är litet speciell bland rötsvamparna eftersom den själv kan leda vatten genom sitt mycel långa vägar och därigenom växa även på tillsynes tämligen torrt trä. Mycelet kan också växa igenom stenväggar. HUSSVAMPEN kan också enzymatiskt bryta ned cellulosan varvid vatten bildas som kan underhålla tillväxten. När den väl etablerats anses hussvampen kunna växa på trä med så låg fuktkvot som 16%.

De flesta mögelsvampar kräver också fritt vatten för att gro och överleva första tiden, men kan sedan växa vid fuktkvoter under fiber-mättnadspunkten. Sporer finns överallt och man måste räkna med att det finns sporer på allt byggnadsvirke. Man bör också räkna med att byggnadsvirke tillfälligt kan ha utsatts för vatten (regn) och att sporererna därigenom har fått tillfälle att gro. Man måste därför räkna med att betingelserna för tillväxt alltid finns även om "fritt vatten" saknas.

Det är svårt att ange enkla gränsvärden för mögel- och rötsvampar. Förutom relativ fuktighet i omgivningen eller träets fuktkvot inverkar temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet. Olika svampar har olika betingelser för tillväxt och alla generella uppgifter måste därför avse ett urval av olika svampar. Dessa kan också påverka varandra inbördes. Klart är emellertid att mögelsvampar kräver lägre fuktkvoter än rötsvampar och blånad, och betingelserna för möglet blir därigenom ofta dimensionerande. Tabell 2.1 ger en översikt över riskerna för svampangrepp. För mögel gäller förhållandena i slutna mörka utrymmen t ex golv på mark. Uppgifterna för mögel grundar sig på undersökningar av Bjurman (1988, 1990), Hallenberg & Gilert (1988) och Hyppel (1988) inom STU-projektet "Trä och fukt" samt på tidigare BFR- och STU-projekt.

Tabell 2.1. Översikt över risk för tillväxt av röta och mögelsvamp vid för tillväxt gynnsam temperatur.

		Risk		
		Ingen	Liten - måttlig	Stor
Röta*	Fk %	< 16	16 - 25	> 25
	RF %	< 75	75 - 95	> 95
Mögel	Fk %	< 15	15 - 20	> 20
	RF %	< 70	70 - 85	> 85

\* Äkta hussvamp, se text.

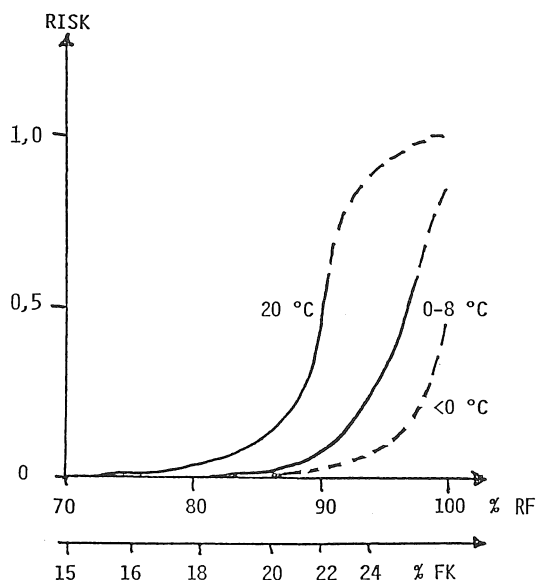
Mycket tyder på att mögelpåväxt kan anses vara en stokastisk process. Ibland möglar det och ibland inte, och vi vet inte varför. Man kan i så fall rita en fördelningskurva som visar sannolikheten för att mögel utvecklas vid olika relativa fuktigheter. Figur 2.5 visar ett försök till en sådan kurva. Erfarenheten visar att trä kan utsättas för högre fuktighet vid låga temperaturer utan att mögla. Undersökningar vid låga temperaturer är emellertid mycket ofullständiga och de kurvor för lägre temperaturer som lagts in i figuren får därför betraktas som mycket osäkra.

Hur en sådan riskfördelningskurva skall användas i samband med motsvarande kurva för fuktpåverkan redovisas i avsnitt 3.5.

Om och hur träets "kvalitet" inverkar på mögelbenägenheten är osäkert. De angivna uppgifterna antas tillsvidare gälla för normalt byggnadsvirke.

Som skydd mot röta kan man använda tryckimpregnering. Denna hindrar inte mögelpåväxt men kan minska mögelbenägenheten något. I gengäld kan mycelväxt på tryckimpregnerat virke lukta starkare än på vanligt trä, Palmgren (1988).





Figur 2.5. Risk för mögelpåväxt vid olika fuktillstånd för virke som hanterats på ett omsorgsfullt sätt. Värdena för lägre temperaturer är mycket osäkra.

## B. Medicinsk och social påverkan på de boende

I BFR:s utredning "Hus och hälsa" (Johnson m fl 1990) ges en översikt över allergi och annan överkänslighet. Mögelsvampar och actinomyceter kan utveckla en besvärande lukt, som har en förmåga att bita sig fast i hår, kläder, möbler, papper och ingående byggnadsmaterial. Lukt i kläder har många gånger tvingat personer från mögeldrabbade hus att byta kläder på väg till arbetet och har medfört att barn blivit mobbade i skolan. Ofta är denna lukt och dess sociala effekter den allvarligaste olägenheten i mögelhus fränsett oron för de ekonomiska konsekvenserna.

Mögel kan också medföra allergier och medverka i annan överkänslighet. Vanligen hänförs allergierna till förekomst av mögelsporer i inomhusluften. I hus som drabbats av mögel innanför täta ytskikt, t ex i grunden, är det emellertid inte självklart att mögelsporer kommer in i bostadsutrymmena i nämnvärd omfattning. Den pumpverkan som uppstår när man går på vissa typer av golv anses kunna pressa in mögelsporer i rumsluften. För en del individer kan emellertid mycket små mängder av ett allergen snabbt leda till symptom som astma, eksem eller hönsnuva. För mera diffusa överkänslighetsreaktioner kan det vara svårt att avgöra om besvären orsakas av mögel på dolda platser eller av damm, kvalster eller liknande. Mögellukten kan inte utestängas med täta skikt såsom plastfolier, däremot kan man ibland hindra lukten att tränga in genom att sätta det luktande utrymmet under undertryck i förhållande till bostaden.

Även om man inte märkt några olägenheter i en bostad kan man påträffa livak-

tig mögelsvamp i omgivande konstruktioner. Statens Provningsanstalt har vid undersökning av åtta "friska" hus påträffat mögel i sex av dem, se Örtengren (1988). Den intressanta frågeställningen är då - inte minst juridiskt - om en mögelpåväxt som sådan eller ett högt fukttillstånd kan anses vara en skada eller om det är effekterna av mögel som utgör skadan.

Undersökningar har också visat, Elmroth & Samuelson (1987), att fukttillståndet i "friska" hus inte skiljer sig nämnvärt från fukttillståndet i mögelhus vilket visar att fukttillståndet ensamt inte är avgörande.

Lukt från flytspackel beror också i viss mån av fukttillståndet. Det finns flera andra typer av emissioner och lukter som kan vara störande. Dessa har emellertid ingenting med trä att göra och behandlas inte här.

### C. Funktionshämmande effekter

Fukt i träkonstruktioner medför effekter som inte direkt leder till skador men som dock kan påverka funktionen avsevärt.

Ändring i fukttillståndet i trä leder till svällning eller krympning. Oftast kan man inte helt undvika effekterna av svällning och krympning. I alla isolerade ytterkonstruktioner utsätts utsidan för högre RF och insidan för lägre RF på vintern än på sommaren. Alla sådana konstruktioner har därför en tendens att bukta ut på vintern och bukta in på sommaren. Störst blir effekten vid ytbärande element. I ytterdörrar hindrar man sådan välvning genom att lägga in metallplåtar på båda sidor.

Om man försummar den konstruktiva utformningen eller missar i arbetsutförandet kan man få andra typer av skador, t ex uppknäckning av parkettgolv, utskjutning av väggar genom svällning hos golvs kivor, uppknäckning av takpanel.

Eftersom fuktrörelserna är ca 10-20 gånger större vinkelrätt fiberriktningen än i dessas riktning är det nästan omöjligt att sammanfoga ett hörn, t ex i ett fönster, utan att de anslutna trästyckena rör sig olika och därigenom medför sprickor i fogen.

Ökad fuktkvot medför lägre hållfasthet hos trä och större elastiska och plastiska deformationer. Varierande fukttillstånd medför dessutom ökad krympning, Mårtensson (1988).

Värmeisoleringsförmågan försämras vid högre fukthalt. Detta har inte så stor betydelse för själva träet i moderna konstruktioner, men kan vara av betydelse för vissa värmeisoleringsmaterial. Fukt som är inestängd i en konstruktion och som avdunstar och kondenserar kan medföra avsevärda energiförluster.

### D. Utseende

Den mest påtagliga fuktskadan är droppande vatten och synliga fuktfläckar. Sådana skador kan uppstå efter läckage i taket, regngenomslag genom väggar och fönster, kapillär uppsugning från marken, läckage från installationer eller våtrum.

Efter uttorkning kvarstår oftast en fläck som kan nödvändiggöra ommålning eller omtapetsering. En fläck på en yta av naturträ kan man ofta inte avlägsna.

Utseendeskador är mindre allvarliga än andra följder av hög fuktkvot såsom beskrivits i avsnitten A, B och C.

Synligt mögel inomhus, t ex i våtrum får betraktas som en hygienisk olägenhet både ifråga om utseende och hälsorisk. Däremot brukar sådant mögel inte lukta.

Synlig blånad, t ex på takpanelens insida, är ett tecken på alltför hög fuktkvot och risk för röta.

Synligt mögel eller blånad utomhus på målat eller omålat trä är huvudsakligen en utseendefråga.

Ibland kan man få en mörkfärgning på insidan av väggar och tak beroende på köldbryggeeffekter, t ex över reglar eller på spikskallar. Med de välisolerade konstruktioner vi numera har i Sverige är dessa nedsmutsningar mindre vanliga. Oftast förorsakas de av rent termiska effekter genom att dammpartiklar lättare avsätter sig på kallare ytor.

Målningskador påverkar i hög grad utseendet, men den viktigaste effekten är oftast att det klimatskydd som målningen skall ge upphör att fungera. Ur fuktteknisk synpunkt kan en fullgod målningsfilm skydda träet mot vatten, men om målningsfilmen blir defekt kan den ibland medföra en fuktackumulering i träet, vilket kan leda till rötangrepp.

#### **E. Skador på andra material än trä i träkonstruktioner**

Fukt i träkonstruktioner och deras omgivning kan också ge skador på andra material än trä.

Spikar, skruvar och beslag kan korrodera med allvarliga skador som följd.

Fukt kan också medföra frostsador, saltutslag m m.

## 2.5 Riskbestämning

### 2.5.1 Beräkning av fuktskaderisk

Vid hållfasthetsdimensionering används i stora drag följande betraktelsesätt för att bedöma brottrisk.

Man inför storheterna  $S$  för lasteffekt och  $R$  för bärförmåga och anger att brott inträffar då

$$R < S$$

2.1

I fukttillämpningar kan begreppen brott, lasteffekt och bärförmåga ersättas med för ändamålet mera närliggande begrepp som

- brott svarar mot fuktskada
- lasteffekt svarar mot omgivningens påverkan på en byggnadsdel
- bärförmåga svarar mot byggnadsdelens förmåga att motstå fuktpåverkan

För exempelvis en träregel i en yttervägg skulle då gälla att den får ett visst fukt-tillstånd under påverkan av omgivningen. Man kan också säga att träregeln har en viss bestämd förmåga att motstå den aktuella påverkan.

Relativ fuktighet RF kan användas som mått både på påverkan och motstånd.

För att kunna utföra statistisk dimensionering och fuktdimensionering behövs kännedom om egenskaper hos både påverkan och motståndsförmåga. I första fallet rör det sig om hållfasthetsvärden och i det andra om fukttillstånd (RF).

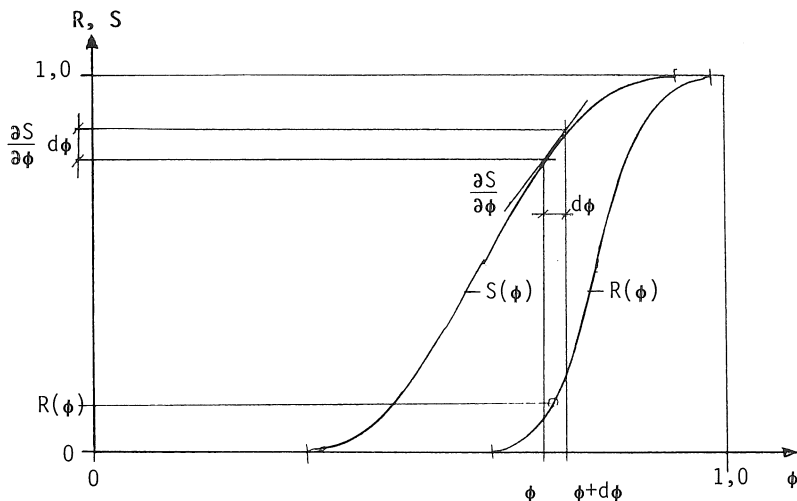
I den fortsatta diskussionen används beteckningarna  $S$  och  $R$  för påverkan och motstånd.

Man måste utgå ifrån att både påverkan  $S$  och motstånd  $R$  har statistiska fördelningar. Om dessa vore kända vore allt gott och väl. Tills vidare får vi nöja oss med att efter bästa förstånd gissa fördelningarna eller kanske bara anta sådana för att kunna demonstrera nyttan av att känna dem.

I den fortsatta diskussionen kommer begreppen frekvensfördelning och fördelningsfunktion att användas. Om någon av dessa är känd, kan den andra enkelt härledas ur den kända fördelningen. Det är förmodligen enklast att skatta frekvensfördelning.

Figur 2.6 visar ett principiellt exempel. Fördelningsfunktioner för både  $S$  och  $R$  har skisserats. Beteckningarna  $S$  och  $R$  får också betyda respektive fördelningsfunktion.

Om egenskaperna hos  $S$  och  $R$  är kända enligt figuren kan risken för skada beräknas. Det förutsätts här att det är fråga om fuktskada. Som karaktäristisk variabel väljs därför relativ fuktighet.



Figur 2.6. Principiell beskrivning av fördelningar för påverkan  $S$  och motstånd  $R$ .

En formel för beräkning av risk erhålls med utgångspunkt från följande resonemang. Antag att påverkan ligger i intervallet  $(\varphi, \varphi + d\varphi)$ . Sannolikheten för att detta skall ske är  $(\partial S / \partial \varphi) * d\varphi$ . Samtidigt är sannolikheten  $R(\varphi)$  att materialet inte skall klara en större påverkan än  $\varphi$ .

Risken för skada i intervallet  $(\varphi, \varphi + d\varphi)$  blir då

$$R(\varphi) * (\partial S / \partial \varphi) * d\varphi$$

Den totala risken för skada erhålls genom att integrera över hela det aktuella intervallet  $\varphi_1$  till  $\varphi_2$  dvs

$$\text{Risk} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} R(\varphi) * (\partial S / \partial \varphi) * d\varphi \quad 2.2$$

Ekvationen (2.2) kan alltid lösas numeriskt om fördelningsfunktionerna  $S$  och  $R$  är givna. Risker uttrycks normalt i absoluta tal som definitionsmässigt är  $< 1$  antingen som decimalbråk eller som exponenter. I tabeller och diagram används ibland % och ibland uttryckssättet 1:100. Samma risk kan alltså anges på följande sätt 0.01,  $10^{-2}$ , 1% och 1:100. Procent har emellertid undvikits för att undgå förväxling med %R.F.

### 2.5.2 Beta-metoden

I Nybyggnadsregler (NR) BFS 1988:18 behandlas säkerhetsproblemet för bärande konstruktioner i kapitel 6 avsnitt 6:11. Därifrån citeras: "Vid dimensionering med någon sannolikhetsteoretisk metod som är godkänd av Boverket skall säkerhetsindex  $\beta$  för en byggnadsdel vara minst följande".

Det framgår alltså att säkerhetsindex  $\beta$  blir av central betydelse i sammanhanget. Begreppet säkerhetsindex kan definieras på följande sätt med tillämpning på fukt. Kriteriet för att skada inte skall inträffa kan formuleras

$$R > S \quad 2.3$$

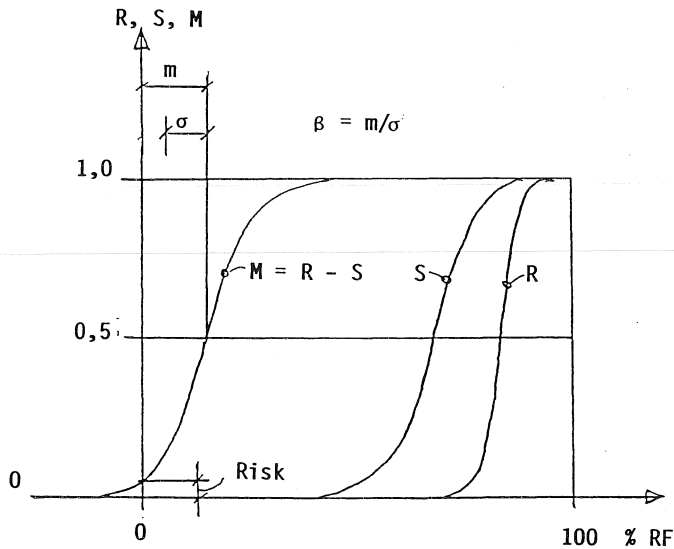
Differensen  $R - S$  kan ses som ett uttryck för säkerhet mot skada, dvs

$$M = R - S \quad 2.4$$

$R, S, M$  är stokastiska variabler.

- $M$  säkerhetsmarginal
- $S$  fuktpåverkan
- $R$  förmåga att motstå fuktpåverkan

En enkel numerisk behandling får man om  $R$  och  $S$  antas normalfördelade. Om någon annan fördelning antas gälla går det alltid att klara de numeriska problemen med hjälp av dator.



Figur 2.7. Beräkning av säkerhetsmarginal  $M$  med utgångspunkt från antagna fördelningsfunktioner för  $R$  och  $S$ .

Om  $R$  och  $S$  är givna kan sannolikhetsfördelningen för säkerhetsmarginalen  $M$  beräknas och således också medelvärde  $m$  och standardavvikelse  $\sigma$ . Risken kan definieras som sannolikheten för att säkerhetsmarginalen skall vara mindre än noll, se figur 2.7.

Säkerhetsindex definieras som

$$\beta = m/\sigma \quad 2.5$$

Om  $R$  och  $S$  antas normalfördelade, blir också  $M$  normalfördelad.

Det finns då ett enkelt samband mellan säkerhetsindex och risknivå :

$$\text{Risknivå} = \phi(-\beta) \quad 2.6$$

där  $\phi$  är fördelningsfunktionen för  $M$ .

Nedanstående tabell visar vilka säkerhetsindex som måste uppnås för några olika fall för bärande konstruktioner enligt Nybyggnadsreglerna.

Tabell 2.2. Säkerhetsindex samt motsvarande risknivå för bärande konstruktioner enligt Nybyggnadsreglerna.

Fall	$\beta$	Risknivå
Fortskridande ras	2.32	$10^{-2}$
Olyckslast	3.09	$10^{-3}$
Säkerhetsklass 1	3.71	$10^{-4}$
Säkerhetsklass 2	4.26	$10^{-5}$
Säkerhetsklass 3	4.75	$10^{-6}$

Det framgår av föregående tabell att risknivån för säkerhetsklass 3 är 1:1000000 medan den för fortskridande ras är 1:100. Den relativt höga risknivån i det senare fallet bör sammanhånga med att den situation som gör fortskridande ras över huvud taget möjligt, antagits ha låg sannolikhet.

Då det gäller fukt kan knappast risknivån väljas i nivå med vad som är brukligt vid hållfasthetsdimensionering. Det kan antas att man vid fuktdimensionering måste lägga dimensionerande risk på ungefär 1:100 eller 1:1000 vilket motsvarar ett beta på 2 till 3. Detta är en hög risknivå i jämförelse med vad som gäller vid hållfasthetsdimensionering. Det måste emellertid då beaktas att det inte kan bli fråga om allvarliga personskador om en fuktskada skulle uppträda.

### 2.5.3 Samband mellan risknivå och dimensionerande fukttillstånd

Om  $R$  och  $S$  är normalfördelade kan ekvation 2.2 tillämpas på ett enkelt sätt. Enligt den matematiska statistiken gäller

$$m_M = m_R - m_S \quad 2.7$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad 2.8$$

Enligt ekvation 2.3 erhålls

$$\beta = m_M / \sigma_M$$

2.9

Antag risknivån  $10^{-2}$  (1:100), vilket motsvara  $\beta = 2.32$  enligt tabell 2.2.  $R$  och  $S$  uttrycks i % RF och standardavvikelsen antas för båda vara 5 %-enheter RF, vilket enligt ekvation 2.8 ger  $\sigma_M = 7.1$  %-enheter. Ekvation 2.9 ger

$$m_M = \beta \cdot \sigma_M = 2.32 \cdot 7.1 = 16.5\%$$

Resultatet innebär alltså att vid skaderisken 1:100 måste medelvärdet av  $R$  ligga minst 16.5 %-enheter RF över medelvärdet för  $S$  under de antagna förutsättningarna.

Tabell 2.3 visar hur stort  $m_M$  som behövs för olika värden på  $\beta$  samt därmed sammanhängande risknivå.

Tabell 2.3. Samband mellan  $\beta$ ,  $m_M$  samt därmed sammanhängande risknivå. Normalfördelning.  $\sigma_M = \sigma_S = 5$  %-enheter.

$\beta$	$m_M$ %-enheter	Risk
1.0	7.1	0.159
1.2	8.5	0.115
1.4	9.9	0.081
1.6	11.3	0.055
1.8	12.7	0.036
2.0	14.1	0.023
2.2	15.5	0.014
2.4	17.0	$8.2 \cdot 10^{-3}$
2.6	18.4	$4.7 \cdot 10^{-3}$
2.8	19.8	$2.6 \cdot 10^{-3}$
3.0	21.2	$1.3 \cdot 10^{-3}$
3.2	22.6	$0.69 \cdot 10^{-3}$
3.4	24.0	$0.34 \cdot 10^{-3}$
3.6	25.5	$0.16 \cdot 10^{-3}$
3.8	26.9	$0.07 \cdot 10^{-3}$
4.0	28.3	$0.03 \cdot 10^{-3}$

Hittills redovisade beräkningar har utgått från normalfördelade kurvor för  $S$  och  $R$  - utan hänsyn till om något värde kan ha kommit över 100% RF.

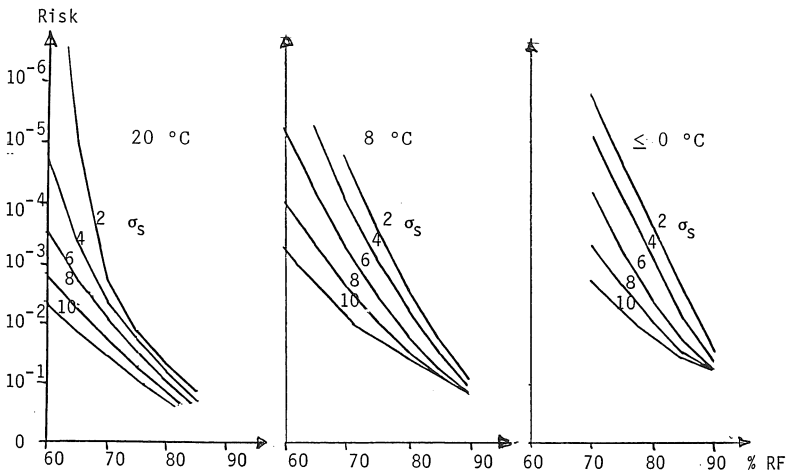
För  $R$ -kurvan är det emellertid riktigare att utgå från de kurvor som angetts i figur 2.5 som risk för mögelpåväxt vid olika fuktillstånd och vid olika temperaturnivå. Dessa kurvor är emellertid inte normalfördelade varför beräkningarna måste göras på dator utgående från de aktuella kurvorna.

Härigenom kan man beräkna dimensionerande värden på RF för olika risknivåer. Resultaten redovisas i tabell 2.4 och i figur 2.8 för olika standardavvikelse hos påverkan (normalfördelad) och för olika temperaturer.



Tabell 2.4.  $RF_{dim}$  vid olika risknivåer och för olika standardavvikelser i påverkanskurvan.

Temperatur	Risk	$RF_{dim}$ vid standardavvikelsen i %-enheter		
		2	6	10
20°C	1:10	84	80	76
	1:100	74	71	63
	1:1000	69	63	54
	1:10000	66	57	46
8°	1:10	90	87	86
	1:100	83	78	71
	1:1000	78	72	62
	1:10000	73	66	54
≤ 0°C	1:10	94	92	-
	1:100	88	83	77
	1:1000	83	76	67
	1:10000	78	71	59



Figur 2.8. Risknivå vid olika relativ fuktighet och olika standardavvikelse  $\sigma_s$ .

Tabell 2.4 eller figur 2.8 kan användas direkt för dimensionering. Därvid skall observeras att det angivna värdet på  $RF_{dim}$  är ett medelvärde och det skall beräknas

från medelvärden på fuktpåverkan och materialegenskaper. Vidare bör observeras att värdena för lägre temperaturer är mycket osäkra.

Beräkningar har visat att standardavvikelsen i påverkan ofta är ca 6-10 %-enheter. Ett sådant värde kan därför användas om man inte kan beräkna ett mera korrekt. Sådana beräkningar redovisas i avsnitt 3.4 och tillämpningar i kapitel 4.

## 2.6 Riskvärdering

### 2.6.1 Primära skador

En riskvärdering måste baseras på medicinska, sociala och ekonomiska aspekter.

Den medicinska aspekten eller den direkta hälsofaran är sällan avgörande. Vid medicinska konsekvenser av fukt finns det alltid möjlighet att flytta ut ur byggnaden, antingen det rör sig om en bostad, ett daghem eller en industrilokal. Det blir givetvis förenat med kostnader som kan räknas in i den ekonomiska värderingen, även om det är ytterligt svårt att uppskatta kostnaden för produktionsbortfall, sjukvård, "sveda och värk" samt tillfällig bostad. Risken för medicinska skador innan man hunnit lämna den skadliga miljön är liten. Härigenom skiljer sig fuktdimensioneringen från statisk dimensionering där det i princip finns risk för ras med personsador som följd.

Med sociala effekter menas i första hand de obehag som kan uppstå av t ex mögellukt, den ekonomiska oron, besvär med tvister och störningar vid reparationer. För dessa sociala aspekter är det nästan omöjligt att ange något pris, som kan föras in i en ekonomisk kalkyl.

En ekonomisk riskvärdering är lättare att göra. Först ett exempel.

#### Exempel 1.

Antag att 20.000 småhus byggdes per år i Sverige under tiden 1965-1980, dvs totalt 300.000 hus.

I Statens planverks rapport 77:1987 anges att flera 10.000-tals hus haft skador. Antag 20.000 skadade hus. Alltså: Ett hus av 15 har skador huvudsakligen av mögel.

Åtgärdskostnaden anges vara 40.000-80.000 kr per hus i medeltal. Antag 60.000 kr. 1987 års kostnadsnivå.

Det skulle alltså ha lönat sig att lägga ned  $60.000:15 = 4.000$  kr per hus för att undvika mögelskador.

Med en byggnadsyta av  $120 \text{ m}^2$  motsvarar detta  $4.000:120 = 33 \text{ kr/m}^2$ . För detta kunde man fått en plastfolie över hela grunden, men inte en luftspaltbildande plastskiva.

I denna kalkyl har endast ingått rena kostnader. "Mänskliga" kostnader har ej medtagits.

Då utgångsvärden i dessa fall är synnerligen osäkra lönar det sig inte att göra en noggrann ekonomisk analys där hänsyn tas till ränta, inflation, amorteringstid och lånevillkor. I stället räknas med en enkel pay-back modell som i ovanstående exempel. Om man bedömer att det skall ta lång tid innan skadan uppträder bör man kanske

räkna noggrannare, liksom om periodiskt underhåll skulle påverka risken.

### A. Riskkostnad

Man kan beräkna en riskkostnad enligt formeln

$$\text{Riskkostnad} = \text{Risk} \times \text{Reparationskostnad}$$

Riskkostnaden är kostnaden i medeltal för att reparera de skador som risken omfattar. I föregående exempel var således riskkostnaden 4.000 kr per hus. Om man inte kan räkna ut risken får man bedöma den baserad på erfarenheter. Om riskkostnaden är större än kostnaden för en åtgärd som eliminerar risken bör man vidtaga denna åtgärd, annars inte.

Det framgår direkt av formeln att för samma riskkostnad kan man acceptera en stor risk om reparationskostnaderna är små medan risken måste vara liten när reparationskostnaderna är stora.

Vid projektering bör man alltså jämföra

$$\text{Byggkostnad} + \text{Riskkostnad}$$

för olika alternativ.

### B. Ekonomisk gränrisk

Ett annat sätt är att beräkna en ekonomisk gränrisk, EGR enligt formeln

$$\text{Ekonomisk GränRisk} = \frac{\text{Motåtgärds-kostnaden}}{\text{Reparationskostnad}}$$

Motåtgärds-kostnaden är kostnaden för den motåtgärd man vidtager för att eliminera risken och motsvarar riskkostnaden i föregående modell.

Om den ekonomiska gränrisken är lägre än den risk för skada som man beräknat eller uppskattat som sannolik lönar det sig att vidtaga motåtgärder. Om EGR är högre än den bedömda risken lönar det sig inte.

Metoden med ekonomisk gränrisk är ju egentligen samma sak som föregående men om man inte kan räkna ut risken - och det kan man sällan - kan det vara lättare att subjektivt bedöma om man ligger över eller under en gränrisk.

De två modellerna illustreras i följande två exempel.

### Exempel 2.

Ytterväggssyll vid platta på mark, med eller utan fuktspärr under syllen.

Fuktspärr av grundpapp YAL 2500

Kostnad, inlagd: 10 kr/lm

Reparationskostnad inkl byte av syllar, inläggning av fuktspärr, återställande av väggdel: 40.000 kr per hus, 8 x 12 m. Per lm  $40.000:2(8+12) = 1.000$  kr/lm.

**Modell A.** Antag att risken för skada är 0.1 dvs att vart 10:e hus skadas om fuktspärren saknas

$$\text{Riskkostnad} = 0.1 \times 1.000 = 100 \text{ kr/lm}$$

dvs avsevärt mer än byggkostnaden.

### Modell B.

$$\text{EGR} = \frac{10}{1000} = 0.01$$

dvs om risken är 1% skulle det nätt och jämnt löna sig att lägga in en fuktspärr. De flesta anser säkert att risken är större än 1% och lägger därför in en fuktspärr - numera.

### Exempel 3.

Förenklad undertäckning med plastfolie under takpannor eller traditionell med panel och papp.

Ökad byggkostnad för traditionell undertäckning: 25 kr/m<sup>2</sup>.

Reparationskostnad, inkl nedtagning av pannor, läkt och befintlig undertäckning, ny undertäckning, uppläggning av läkt och pannor, bräckage, ställningar m m: 200 kr/m<sup>2</sup>.

**Modell A.** Antag att risken för skador är 0.02 (mer än för traditionell undertäckning)

$$\text{Riskkostnad} = 0.02 \cdot 200 = 4 \text{ kr/m}^2$$

dvs avsevärt mindre än den ökade byggkostnaden.

## Modell B.

$$\text{EGR} = \frac{25}{200} = 0.13$$

Erfarenheten säger att 13% av förenklade undertäckningar inte råkar ut för fuktskador. Den traditionella undertäckningen kan således inte motiveras av risken för fuktskador. Därför har ju också de förenklade undertäckningarna en stor marknadsandel. Mera relevant vore att undersöka om man inte borde lägga ner mera kostnader på att göra genomföringar på ett säkrare sätt.

Sådana ekonomiska resonemang är tillämpliga för stora byggherrar såsom statliga och kommunala myndigheter, stora bostadsföretag och stora privata företag, som internt kan fördela riskerna och de ekonomiska konsekvenserna.

En enskild småhusägare däremot vill nog inte acceptera en risk på säg 10% även om det skulle vara nationalekonomiskt berättigat.

Egentligen är det inte risken som sådan man borde värdera utan riskkostnaden. Som tidigare framhållits kan man ju acceptera en större risk om kostnaden för reparation är liten än om den är stor.

Idealet vore om man kunde beräkna riskkostnaderna för alla byggnadsdelar och sätta summan av dessa i relation till totala byggkostnaden. Man får då en total relativ riskkostnad TRR.

$$\text{TRR} = \frac{\sum \text{Riskkostnader}}{\text{Total byggkostnad}}$$

Även detta är en statistisk kostnad och måste variera för olika byggnader. Den kan därför lämpa sig för stora byggherrar men är nog inte acceptabel för enskilda ägare utan att komplettera med ett försäkringsskydd eller med någon begränsning av enskilda risker.

Frågor om längre garantitid, utökat ansvar för projektör och byggare eller försäkringssystem ligger emellertid utanför ramen för detta projekt.

### 2.6.2 Sekundära skador

I riskvärderingen kan också ingå en bedömning av hur känslig en konstruktion är för sekundära skador, t ex vattenskada av utströmmande vatten från ledningssystemet. Man kan ju tänka sig att kostnaden för att åtgärda en golvkonstruktion efter vattenskada kan vara mycket högre än för en annan konstruktion. Om man kände skadefrekvensen kunde man då räkna ut en ökad riskkostnad för den ena konstruktionen som kunde ta hänsyn till vid val av konstruktion vid projekteringen.

Detta resonemang torde vara mest relevant för golv och bjälklag men kan också gälla för väggar där man drar ledningar.

Försäkringsbolagens Byggregarationskommitté (1987) har publicerat en omfattande utredning om vattenskador i byggnader. I utredningen redovisas skadornas fördelning

på olika hustyper, konstruktioner och orsaker, hänförliga till ledningssystem, utrustning och våtisolering. Vattenskadorna är mycket omfattande. Av utredningen kan man beräkna att var 15:e bostad får en vattenskada varje år.

För olika golvtypen anger utredningen skadornas procentuella fördelning och skadekostnad i medeltal enligt tabell 2.5. Om man vidare antar att skadefrekvensen är 1% per år och räknar på en livslängd av 30 år får man de i tabellen angivna riskkostnaderna.

Tabell 2.5. Vattenskador på olika golvtypen, fördelning och skadekostnad enligt Försäkringsbolagens Byggregarationskommitté (1987) och beräknad riskkostnad.

Golvtyp	Fördelning av antal skador %	Skade- kostnad medel kk	Riskkostnad vid 1% skadefrekvens per år, under 30 år kr
Uppreglat trä	37	20,7	6200
Flytande trä			
Betong + isol + betong	24	18,9	5700
Sandfyllning	5	31,5	9500
Betong			
Lättbetong	34	14,4	4300

Av tabellen framgår att skillnaden i skadekostnad mellan t ex uppreglat trägolv och betong (med tunn golvbeläggning) är förvånansvärt liten. Förutsättningarna för att beräkna riskkostnad kan diskuteras men skillnaden i riskkostnad för olika golvtypen blir ganska liten, storleksordning några tiotal kronor per m<sup>2</sup>. En så liten skillnad kan knappast komma att styra valet av konstruktion.

I en fullständig riskanalys bör man dock ta hänsyn till sådana riskkostnader.

## 3 BERÄKNING AV FUKTTILLSTÅND

### 3.1 Beräkningsmetoder. Monte Carlo-metoden

Fuktberäkningarna i denna rapport är i regel gjorda enligt traditionella metoder såsom de beskrivs i Fukthandboken (Nevander, Elmarsson, 1981). Läsaren förutsätts vara bekant med dessa metoder och beräkningsförutsättningar och formler upprepas inte. I vissa fall görs hänvisningar till Fukthandboken.

I fuktdiffusionsberäkningar används luftens ånghalt som potential och ångdiffusionskoefficienten förutsätts vara oberoende av temperaturnivå. Ev termodiffusion försummas.

I huvudsak två slags fuktberäkningar har utförts.

Stationära, endimensionella beräkningar med stokastiskt varierande parametrar.

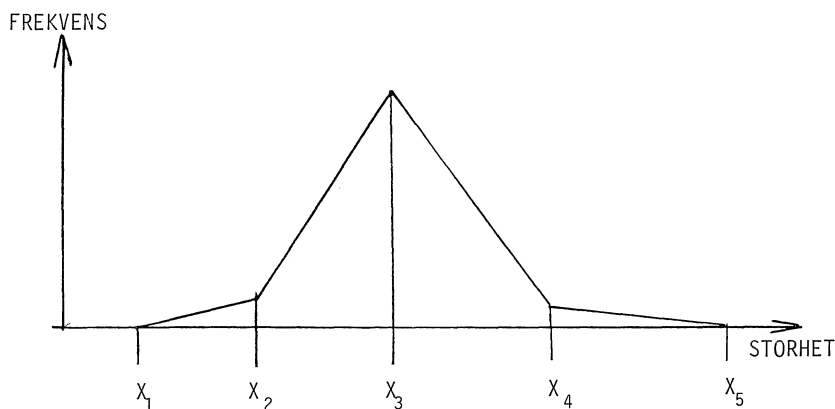
Icke-stationära, en- och två-dimensionella beräkningar med i tiden varierande parametrar.

Många parametrar i en fuktberäkning, t ex materialdata och klimatdata, är ofta osäkra och kan slumpvis anta olika värden. Den stokastiska fördelningen av parametervärdena kan visas i en fördelningskurva eller i en frekvenskurva. För att ta hänsyn till denna osäkerhet har den så kallade Monte Carlo-metoden använts. Metoden har tidigare tillämpats på fukttekniska problem av Nielsen (1987). Metoden innebär att man med hjälp av slumpantal ger varje parameter ett värde som håller sig inom ramen för dess fördelningsfunktion. Med de på detta sätt erhållna parametervärdena beräknas det aktuella fukttillståndet. Denna procedur upprepas exempelvis 1000 gånger och därmed erhålls lika många värden på det aktuella fukttillståndet. Genom att numeriskt bestämma fördelningsfunktionen för de 1000 värdena finns möjlighet att exempelvis ange hur stor risken är att det aktuella fukttillståndet hamnar utanför ett givet intervall. Med denna metod kan man beräkna en påverkanskurva  $S$  som redan visats i figur 2.6, avsnitt 2.5.1.

Fördelningsfunktionen för parametrarna kan ges olika form. Vi har valt att använda en trunkerad frekvenskurva enligt figur 3.1 som ungefär har samma form som normalfördelningen. Ytan mellan värdena  $x_1$  och  $x_2$  och mellan  $x_4$  och  $x_5$  har konsekvent antagits innehålla 5% av värdena vardera.

Parametern anges då genom att redovisa de fem värdena  $x_1 - x_5$  i följd.

I de fall då parametern inte beräknats vara stokastiskt fördelad har vanligen medelvärdet använts, dvs värdet  $x_3$ .



Figur 3.1. Trunkerad frekvenskurva använd vid stokastiska beräkningar.

För att visa hur metoden fungerar visas här ett räkneexempel.

För att bestämma fukttillskottet inomhus  $v_{FT}$  mäter man relativ fuktighet RF inne och ute ( $\varphi_i, \varphi_u$ ) samt temperaturerna inne och ute, ( $T_i, T_u$ ), det senare för att kunna bestämma ånghaltens mättnadsvärde  $v_s$ . Fukttillskottet beräknas enligt formeln

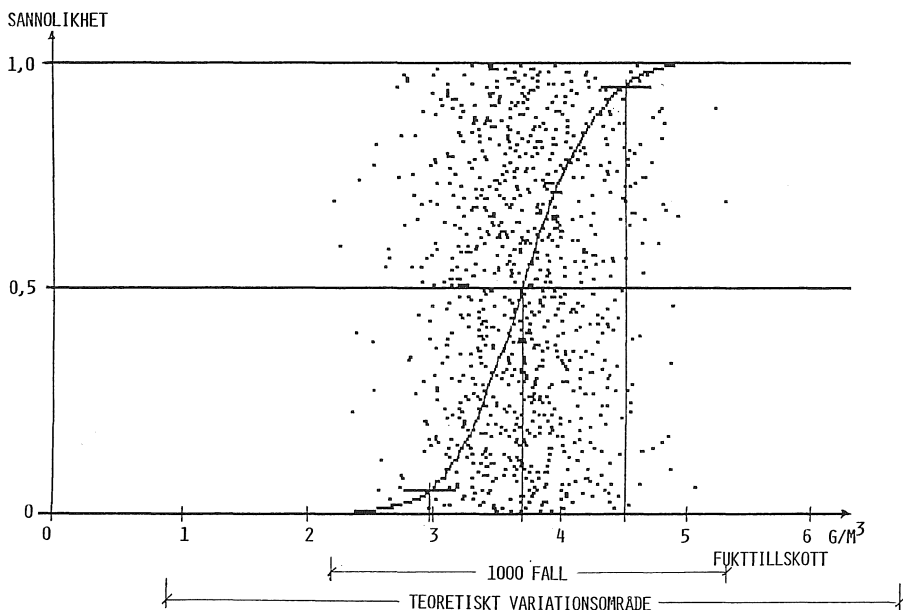
$$v_{FT} = \varphi_i \cdot v_s(T_i) - \varphi_u \cdot v_s(T_u)$$

Låt oss anta att de uppmätta värdena kan karakteriseras på följande sätt enligt figur 3.1.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
$\varphi_u$	81	83	85	87	89	%
$\varphi_i$	46	48	50	52	54	%
$T_u$	3	4	5	6	7	°C
$T_i$	19	20	21	22	23	°C

Ur dessa frekvenskurvor väljs värden slumpmässigt och ett stort antal beräkningar utförs. Praktiskt tillgår det så att frekvenskurvan räknas om till en fördelningskurva. Datorn får sedan generera ett slumptal mellan 0 och 1 och detta slumpstal bestämmer parametrarnas värde för en enskild beräkning. Med så bestämda parametervärden beräknas  $v_{FT}$  enligt formeln. Genom att upprepa beräkningen 1000 gånger får man 1000 värden på fukttillskottet. Genom att ordna dessa efter storleksordning får man en fördelningskurva och man kan beräkna medelvärde, medianvärde, standardavvikelse och t ex övre och under 5%-fraktil. Resultatet kan också åskådliggöras med en punktsvärm enligt figur 3.2.





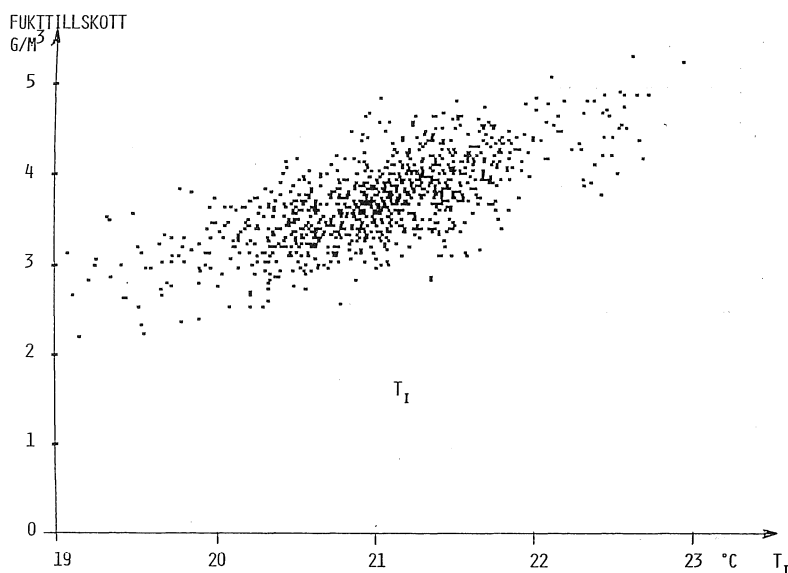
Figur 3.2. Beräknade värden, punkter och fördelningskurva. I denna har markerats 5% och 95%-värdena.

Resultatet av denna beräkning blir

$v_{FT}$ medelvärde	3.70 g/m <sup>3</sup>
standardavvikelse	0.47 g/m <sup>3</sup>
5% fraktil	2.97 g/m <sup>3</sup>
95% fraktil	4.51 g/m <sup>3</sup>

Det är alltså ganska stor spridning i resultatet, trots att tämligen små osäkerheter förutsattes för mätvärdena - tänk bara på temperaturvariationerna i höjddet i ett rum. Det är därför mycket diskutabelt att dra vittgående slutsatser av enstaka mätningar av fukttillskottet på detta sätt.

Man kan också låta datorn visa hur  $v_{FT}$  påverkas av de olika parametrarna såsom visas på figur 3.3, som visar inverkan av innetemperaturen  $T_i$ . Om punkterna grupperar sig utefter en horisontell linje har den aktuella parametern liten inverkan, medan en lutande punktsvärm som i figur 3.3 visar stor inverkan.



Figur 3.3. Fukttillskott som funktion av innetemperatur. Av punktsvärmens lutning kan man bedöma innetemperaturens inverkan.

### 3.2 Materialdata

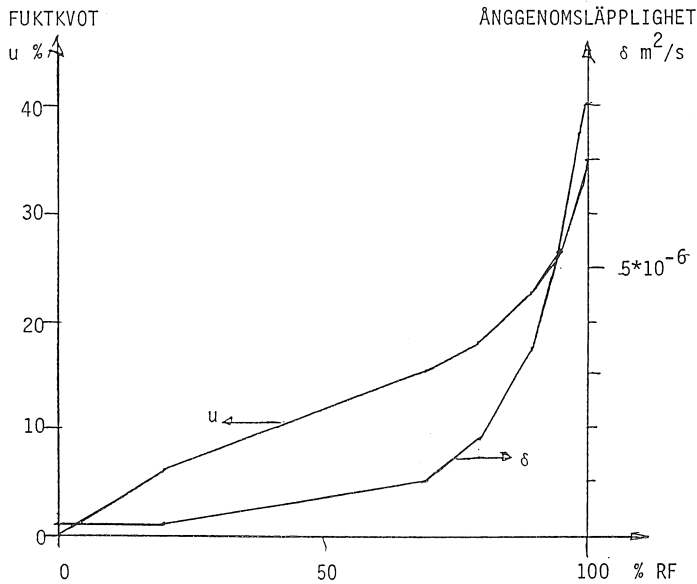
Materialdata är allmänt talat mycket osäkra. Material och varor kan komma från olika tillverkningsställen och materialdata har alltid en viss spridning. Dessutom kan det förekomma defekter. Använda materialdata har emellertid redovisats i bilaga 1.

För de stokastiskt varierande materialen har viss hänsyn till defekter tagits genom att frekvenskurvan givits en ganska lång "svans" på den sida som ger stor genomsläpplighet för att simulera t ex hål och revor i en plastfolie, avslagna hörn eller stora fogar vid skivmaterial. Underlaget för dessa frekvenskurvor är mycket magert och många värden är uppskattade eller gissade.

Värdena för värmetransport och fukttransport har i regel antagits oberoende av fuktillståndet (undantag trä) och temperaturnivån. Senaste mätningen har visat olika effekter av temperaturnivå. Liu Tong (1989) har för trä fått ett maximum vid ca 20°C medan Nilsson & Saarmark (1990) för en målningsfilm fått ett minimum vid ca 20°C.

För trä har tillämpats de värden som utvärderats från senaste mätningar av Nilsson (1988). Den använda ångdiffusionskoefficienten för trä redovisas i figur 3.4 tillsammans med sorptionskurvan för trä. Nyligen redovisade mätningar av Liu Tong (1989) visar lägre ångdiffusionskoefficient i området under 80% R.F. Trä har vanligen inte räknats vara stokastiskt varierande.

Sorptionskurvan för trä är praktiskt taget oberoende av träslaget om man beskriver fukttillståndet med fuktkvoten. I princip används medeltalet mellan absorption och desorption.



Figur 3.4. Sorptionskurva och ånggenomsläpplighet  $\delta$  för trä  $\perp$  fibrerna.

Övriga sorptionskurvor har vid behov tagits från Ahlgren (1972).

### 3.3 Klimatdata. Randvillkor

Beräkningarna har utförts på flera olika sätt varvid olika sorts data för utomhus- och inomhusklimat använts.

I många fall har beräkningarna utförts genom att välja rimliga värden på klimatparametrarna utan att resultatet direkt har knutits till visst geografiskt läge. I andra fall har beräkningarna gjorts för bestämda orter och därvid har valts Malmö, Västerås och Kiruna för att få en stor klimatisk spridning. I vissa fall har närliggande orter använts.

I detta avsnitt ges en allmän översikt över använda klimatdata.

#### 3.3.1 Temperatur och fuktighet utomhus

I bilaga B redovisas vanliga klimatdata för de tre utvalda orterna Malmö, Västerås och Kiruna. I tabell redovisas sålunda dygnsmedelvärde för lufttemperatur och relativ fuktighet, RF. Av dessa har ånghalten beräknats.

Fuktändringar sker emellertid betydligt långsammare än temperaturändringar och det har inte ansetts lämpligt att basera fuktberäkningarna på endygnsvärden. I stället har medeltemperaturen under 5-dygnsperioder använts. Anledningen till att just 5 dygn valts är att det förefaller vara en lagom lång period och att 5-dygnsmedelvärden fanns uträknade vid SMHI. Ur detta material har medelvärde och standardavvikelse för varannan månad beräknats för en 10-årsperiod. Dessa värden redovisas i bilaga B.

Vid de stokastiska beräkningarna har frekvenskurvan för utetemperaturen konstruerats på följande sätt, jämför figur 3.1.  $\sigma$  är standardavvikelsen för 5-dygnsvärdena.

$$\begin{aligned}x_1 &= \text{Medelvärde} & -3\sigma \\x_2 &= \text{''} & -1.6\sigma \\x_3 &= \text{''} & \pm 0 \\x_4 &= \text{''} & +1.6\sigma \\x_5 &= \text{''} & +3\sigma\end{aligned}$$

Detta sätt att räkna ger större avvikelser från medelvärdet för max- och minvärdena än vad som framgår av uppgifterna i bilaga B (bearbetning av 10 år). Inverkan av dessa "svansar" är emellertid obetydlig för slutresultatet.

Spridningen i RF utomhus är svårare att ta reda på. Fr o m november 1987 redovisar emellertid SMHI dygnsmedelvärden i sina datortabeller från månadsvisa bearbetningar. För att få någon uppfattning om spridningen i RF har medelvärde och standardavvikelse för varannan månad under två år beräknats för Lund, se bilaga B. För de stokastiska beräkningarna har frekvenskurvan konstruerats på motsvarande sätt som för utetemperaturen varvid dock hänsyn har tagits till att kurvan måste bli skev eftersom RF inte kan överstiga 100%.

### 3.3.2 Temperatur och fuktighet inomhus

Lufttemperaturen inomhus har i regel antagits vara 21°C med en frekvenskurva av följande värden, jämför figur 3.1.

$$\begin{aligned}x_1 &= 18^\circ\text{C} \\x_2 &= 20^\circ\text{C} \\x_3 &= 21^\circ\text{C} \\x_4 &= 22^\circ\text{C} \\x_5 &= 25^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Luftfuktigheten inomhus har beräknats från ånghaltstillskottet som antagits vara, jämför figur 3.1.

$$\begin{aligned}x_1 &= 1 \text{ g/m}^3 \\x_2 &= 2 \text{ g/m}^3 \\x_3 &= 3 \text{ g/m}^3 \\x_4 &= 4 \text{ g/m}^3 \\x_5 &= 6 \text{ g/m}^3\end{aligned}$$

### 3.3.3 Solinstrålning, nattutstrålning och värmeövergångskoefficient

Solinstrålning och nattutstrålning kan ha stor betydelse för fuktbalansen, särskilt i de yttre delarna av klimathöljet.

Uppgifter om solinstrålning har hämtats ur Höglund, Girdo & Troedsson (1985).

För Skåne, Västerås och Kiruna som anses motsvara breddgraderna 56, 60 respektive 68° har instrålad effekt i medeltal under dygnet beräknats för varannan månad och syd- och nordfasad och för klara, halvklara och mulna dagar. Dessa värden anges i bilaga C.

Uppgifter om molnighet har hämtats ur Taesler (1972) och har i bilaga C angetts som frekvenser för de tre områdena (för Skåne avser uppgifterna Kristianstad).

Medelinstrålningen över dygn kan sedan beräknas genom att vikta ihop de olika dagtypernas värden med molnigheten som vikter.

Solinstrålningen kan variera mycket. Som exempel ges i tabell 3.1 uppgifter om instrålad effekt vid olika tidsmedelvärden och olika väder.

Tabell 3.1. Solinstrålning, breddgrad 60, Västerås

Alternativ	Instrålad effekt, W/m <sup>2</sup>	
	Syd	Nord
1 Medeltal, året	112	45
2 Medeltal, april	151	53
3 Medeltal, mulen dag, april	67	45
4 Medeltal, halvklar dag, april	177	61
6 Mulen dag, kl 12, april	205	126
7 Halvklar dag, kl 12, april	579	162
8 Klar dag, kl 12, april	799	128

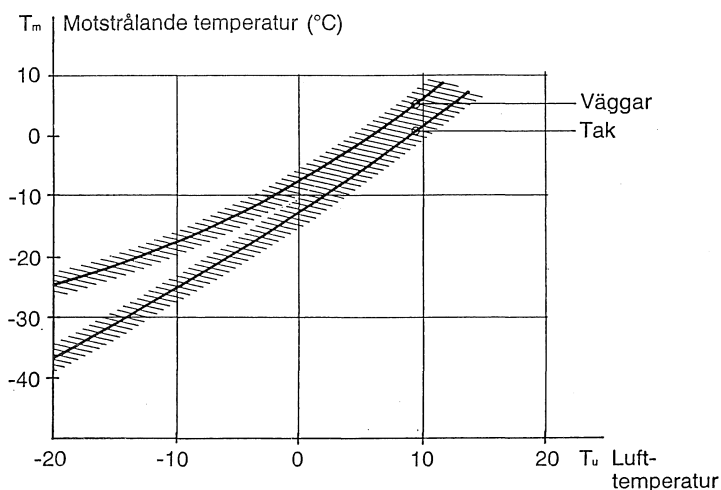
Vid fuktberäkningar enligt MC-metoden, som i princip avser ett stort antal stationära fall, har som tidigare angivits använts 5 dygnsmedelvärden för temperaturen. Det är då rimligt att använda ett liknande värde för solinstrålningen. Vid beräkningen har därför först slumpmässigt (inom angivna frekvenser) valts 5 värden på molnigheten. Dessa ger 5 värden på instrålad effekt och medelvärdet av dessa används i beräkningen. Anledningen till att vi valt detta förfarande är att man annars skulle få en enligt vår bedömning alltför stor spridning i slutvärdena.

Vid fuktberäkningar borde man räkna med timvärden för solstrålningen med hänsyn till att det inte råder proportionalitet mellan mätnadsånghalt och temperatur. En beräkning baserad på medelvärden leder till en underskattning av fuktflödet.

Ett sätt att förenklat beakta att solstrålningen varierar över dygnet är att anta att solstrålningen är rektangulärt fördelad över dygnet. Man kan t ex anta att solstrålningen förekommer under 1/3 av dygnet dvs 8 timmar med 3 gånger medelinstrålningen och att resten av dygnet är utan solstrålning.

Nattutstrålningen mot en klar rymd har beräknats enligt Brown (1956), se figur 3.5.

Det finns inga meteorologiska uppgifter över frekvensen av klara nätter. Beräkningar kan därför endast göras för extremfallet att det är maximal utstrålning.



Figur 3.5. Den effektiva motstrålande temperaturen under klara nätter som funktion av utelufttemperaturen enligt mätningar, Brown (1956).

Både solinstrålning och nattutstrålning räknas normalt om till en ekvivalent utetemperatur. Därvid inverkar absorptionsfaktorn för kortvågig strålning,  $a$ , som beror av kulören, och de yttre värmeöverföringskoefficienterna  $\alpha_u$  som beror på långvågig strålning och konvektion. Luftrörelserna utefter ytan och därmed vinden har då stor inverkan.

Kunskapen om samvariationen av lufttemperatur, vind, solinstrålning och nattutstrålning är dålig. Beräkningarna får därför göras mera som exempel på tänkbara situationer.

I våra beräkningar har följande värden använts, där inte annat anges.

*Beräkning av temperaturfördelning. Normalfall.* (enligt SS 024202)

$$R_i = 0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_u = 0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

*Beräkning av effekt av solinstrålning*

Absorptionsfaktor för kortvågig strålning  $a = 0.7$ .

$$\alpha_u = 18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

*Beräkning av effekt av nattutstrålning*

Emmissionstal för långvågig strålning  $\epsilon = 0.9$ .

$$\alpha_{ku} = 12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.3.4 Övriga

Vinden ingår inte direkt i beräkningsalgoritmerna men inverkar på fuktkonvektionen, se avsnitt 3.5 och bilaga D och på slagregn.

Slagregn behandlas i avsnitt 3.6.

Markfukt behandlas i avsnitt 3.8.

## 3.4 Diffusionsförlopp

### 3.4.1 Allmänt

Diffusion kan definieras som en strävan till utjämning av koncentrationsskillnaderna. För endimensionellt fuktflöde kan Ficks lag tecknas

$$g = -\delta \cdot \frac{dv}{dx}$$

Fuktflödet över ett skikt med tjockleken  $d$  och som på vardera sida har ånghalten  $v_1$  och  $v_2$  kan tecknas

$$g = \frac{v_1 - v_2}{Z}$$

där  $Z$  är ånggenomgångsmotståndet

$$Z = \frac{d}{\delta}$$

I princip genpompförs beräkningarna så, att först beräknas temperaturfördelningen och av denna beräknas motsvarande mätnadsånghalt  $v_s$ . Därefter beräknas ånghaltsfördelningen. Från fuktrisksynpunkt är det oftast RF-nivån som är av störst intresse och RF blir

$$\varphi = \frac{v}{v_s}$$

På detta sätt kan RF-fördelningen genom konstruktionen beräknas. Vid beräkningen måste beaktas att RF aldrig kan bli större än 100%. Om man beräkningsmässigt får  $\varphi \geq 100\%$  sker kondensation och beräkningen måste justeras så att villkoret  $\varphi \leq 100\%$  uppfylls. Skillnaden mellan flödet in mot kondensnippet och ut från det utgör den kondenserade vattenmängden.

Mättnadsånghalten är av central betydelse vid alla fuktberäkningar. Den finns tabellerad i de flesta handböcker, t ex i Fukthandboken. Det kan påpekas att olika källor inte alltid anger lika uppgifter. Det kan bero på om uppgifterna avser ren vattenånga eller fuktig luft. I senare fallet är värdena något högre. Vid beräkningen torde emellertid denna skillnad vara utan betydelse.

För datorberäkningar kan det vara mera praktiskt att använda en formel. Enligt DIN 4108 kan sambandet mellan mättnadsångtryck och temperatur formuleras

$$p_s = a \cdot \left(b + \frac{T}{100}\right)^n$$

Mättnadsånghalten erhålls ur sambandet

$$v_s = \frac{p_s}{461.4 \cdot (T + 273.2)}$$

$p_s$	=	mättnadsångtryck	Pa
$v_s$	=	mättnadsånghalt	kg/m <sup>3</sup>
$T$	=	temperatur	°C

Parametrarna  $a$ ,  $b$  och  $n$  skall ges följande värden

$$\begin{array}{llll} 0 < T < 30 & a = 288.68 & b = 1.098 & n = 8.02 \\ -20 < T \leq 0 & a = 4.689 & b = 1.486 & n = 12.30 \end{array}$$

Formeln gäller med tillfredsställande noggrannhet även över 30°C upp till ca 70°C.

Temperaturberoendet kommer i första hand in genom sambandet mellan mätnadsånghalt och temperatur. Man kan i beräkningarna även införa en termodiffusionsterm som är beroende av temperaturgradienten. Nilsson (1989) har i en litteraturstudie av trä och fukt funnit uppgifter som indikerar att denna termodiffusion för trä kanske inte är försumbar. Termodiffusionen motverkar i normala fall den vanliga diffusionen och medför då mindre fuktflöde. I våra beräkningar har emellertid termodiffusionen försummats liksom temperaturnivåns inverkan på transportkoefficienten.

Det bör påpekas att om man använder fuktkvot eller fukthalt hos träet som potential - vilket är vanligt inom träforskningen - måste man ta hänsyn till temperaturen.

Om man har fritt vatten på en yta, t ex vid slagregn på en träpanel, får man alltför litet fuktflöde om man bara sätter RF till 100% och räknar vanlig diffusion. I sådana fall har fuktflödet kompletterats med en term för kapillär transport.

$$g = -\delta \frac{dv}{dx} - D \cdot \frac{dw}{dx}$$

där  $D$  betecknar en kapillär ledningskoefficient och  $w$  är fukthalten i  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

### 3.4.2 Endimensionella, stationära beräkningar. Monte Carlo-metoden

Beräkningarna har utförts med stokastiskt varierande parametrar enligt Monte Carlo-metoden. Följande parametrar har i regel varierats.

Utetemperatur	$T_u$
Innetemperatur	$T_i$
Värmekonduktivitet	$\lambda$
Värmemotstånd	$R$
RF utomhus	$\varphi_u$
Ånghaltstillskott	$v_{FT}$
Ångdiffusionskoefficient	$\delta$
Ånggenomgångsmotstånd	$Z$

För en konstruktion med fyra skikt innebär detta att 12 parametrar varierar.

Dimensioner och skiktjocklek har varierats i en del fall. För trä har inte  $\delta$  varierats stokastiskt men däremot antagits vara fuktberoende.

För utetemperaturen används 5-dygnsmedelvärden enligt 3.3.1.

Varje parameter har antagits kunna beskrivas med en frekvenskurva enligt avsnitt 3.1, 3.2 och 3.3.

### 3.4.3 En- och tvådimensionella, stationära och icke-stationära beräkningar

Endimensionella, icke-stationära beräkningar har utförts enligt den så kallade finita differensmetoden, FDM. Konstruktionen indelas i parallella skikt. Temperatur- och fukt-tillstånden för varje nytt tidssteg beräknas utifrån de tillstånd som rådde i föregående tidssteg för respektive skikt.

Denna enkla princip kräver emellertid att viss uppmärksamhet ägnas åt vilket tidssteg som skall användas. Om tidssteget väljs för långt blir beräkningen divergent. Om å andra sidan tidssteget väljs kort blir beräkningstiden onödigt lång. För temperaturberäkningen bestäms den övre gränsen för tidssteget av skiktjocklek, värmekapacitet och  $\lambda$ -värde om man bortser från randeffekterna. Vid fuktberäkningar inverkar fyra



faktorer på tidssteget; sorptionskurvans form, temperaturinverkan på mätnadskurvan samt flödesmotstånd och skiktjocklek.

Problemet att välja tidssteg vid fuktberäkningar ligger bland annat i att det är en funktion av det fuktillstånd som skall beräknas. Från praktisk synpunkt kan man välja tidssteg genom att prova sig fram. De matematiskt uttryckta konvergensvillkoren kan användas för att från början komma någorlunda rätt.

För att ge en uppfattning av stoleken på tidssteget vid värme- resp fuktberäkningar ges följande exempel.

En träpanel har tjockleken 20 mm. För en diffusionsberäkning indelas den i 5 skivor (element). Fuktnivån antas till ca  $\varphi = 80\%$ . Största acceptabla tidssteg blir då 60 sekunder för temperaturberäkningen

Eftersom tidssteget för temperaturberäkningar ofta är mycket kortare än för fuktberäkningar brukar man ofta undvika att räkna temperaturen icke-stationär och man kan ofta få tillräcklig information genom att beräkna temperaturen stationär eller periodvis stationär. Alternativt kan en grövre elementindelning väljas för temperaturberäkningen, eller man kan använda en del andra tricks.

Tvådimensionella, icke-stationära beräkningar utförs på i princip samma sätt. Konstruktionen indelas i ett rutnät och temperatur- och fuktflöde sker tvådimensionellt. Inom detta projekt har temperaturen räknats stationär i dessa beräkningar.

Tvådimensionella, stationära beräkningar utförs enligt samma princip men lösningen kan erhållas på enklare sätt.

Beräkningsmetoderna kommenteras ytterligare i kapitel 4 när sådana beräkningar redovisas.

### 3.5 Fuktkonvektion

När en luftmassa rör sig på grund av en totaltryckskillnad tar den även med sig sin vattenånga. Den fukttransport som på detta sätt äger rum kallas fuktkonvektion. I normala fall är fuktkonvektion farlig endast vid övertryck inomhus, dvs då varm fuktig luft tränger ut genom ytterkonstruktionen och kan kondensera mot kallare ytor.

För att skadlig kondensation skall kunna inträffa fordras därför tre faktorer.

- A Övertryck inomhus
- B Luftgenomsläpplighet hos konstruktionen
- C Ånghalt inomhus som är större än mätnadsånghalten i det tänkta kondenssnittet

Risken för att kondensation på grund av fuktkonvektion skall ske är då sannolikheten för att dessa tre händelser inträffar samtidigt dvs

$$\text{Risk} = (A \cdot B \cdot C)$$

Händelsen A beror i stor utsträckning av ventilationssystemet och kan påverkas. Man kan knappast bygga ett hus helt tätt och B förekommer därför nästan alltid. Beroende på fuktillskottet inomhus förekommer händelsen C vanligen men mängden kan påverkas på olika sätt.

Mängden kondenserbar fukt per area blir proportionell mot produkten av mätetalen som karakteriserar A, B och C, dvs

$$g_{\text{kond}} \sim \Delta p \cdot K \cdot (v_i - v_{xs})$$

där  $\Delta p$  är övertrycket i Pa,  $K$  är luftpermeansen i  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ ,  $v_i$  ånghalten inomhus i  $\text{kg}/\text{m}^3$  och  $v_{xs}$  är mätnadsånghalten i ett tänkt kondenssnitt i  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Även om fuktkonvektion förekommer så kan man på olika sätt påverka förhållandena så att den kondenserbara fuktmängden blir liten och förhoppningsvis ofarlig.

I det följande diskuteras de olika parametrarna.

*Tryckdifferensen* över en ytterkonstruktion påverkas av termisk drivkraft, vind och ventilationssystem såsom översiktligt visas i tabell 3.2.

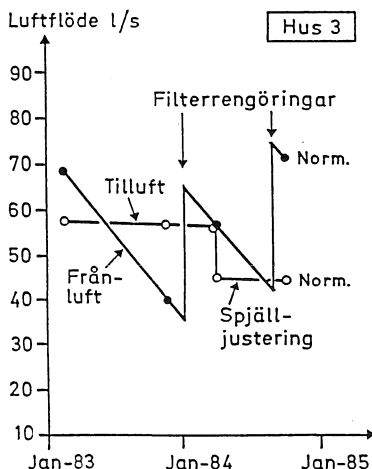
TABELL 3.2. översikt över faktorer som kan skapa övertryck i byggnader.

Drivkraft	Effekt	Övertryck Storleksordning	Kommentar
Termisk drivkraft	Övertryck i övre del av byggnader	$\Delta p = 0,043 \cdot h \cdot \Delta T$ dvs 1 Pa per m höjdskillnad vid $\Delta T = 23^\circ\text{C}$	Större öppningar eller otätheter nedtill ger ökat övertryck upptill
Vind	Övertryck på läsidan och möjligen på ytor i vindens riktning	10% risk att $p \geq 15 \text{ Pa}$	Tryckförhållandena växlar. Därför mindre skaderisk
Ventilation			
a. Självdrag	Tryckförhållandena bestäms av termisk drivkraft och vind	Se termik + vind	I normala fall svagt undertryck inomhus
b. Mekanisk frånluft	Undertryck	Inget övertryck	Mycket stark vind kan överväga och ge övertryck på läsidan. Kortvarigt och sannolikt ofarligt
c. Mekanisk till- och frånluft	Tryckbilden beror helt på injusteringen av fläktringen av fläktringen. Igensättning av luftfilter kan påverka luftflödena avsevärt och därigenom även trycken	0 - 30 Pa	Ur fuktsynpunkt bör systemet justeras att ge svagt undertryck. Ur komfortsynpunkt omvänt
d. Värmeväxlare	Aggregaten kan sättas igen av smuts eller isbildning och därigenom skapa (större) övertryck	0 - 50 Pa	

Som framgår av tabellen är det minst risk för övertryck vid mekanisk frånluft och detta system är därför gynnsammast när man enbart beaktar risken för fuktkonvektion.

Det nu mest vanliga systemet med mekanisk till- och frånluft ofta kombinerat med värmeväxlare är däremot ett mycket osäkert system med avseende på fuktkonvektion. Även om systemet justeras in så att det är "balanserat" kommer den termiska drivkraften att medföra övertryck i husets övre delar vintertid. Om man justerar in systemet så att man får 0-tryck upptill kommer det åtminstone vid höga hus att bli så stora undertryck i bottenvåningen att man kan få drag från fönster och att dörrar kan

bli svåra att öppna (eller stänga). Igensättning av luftfilter kan också ha stor effekt på luftflödena som framgår av figur 3.6. De övre gränserna i fall c och d är uppskattade.



Figur 3.6. Luftflöden i ett småhus med FTX-system. Svensson m fl (1985).

### Luftflöde

För byggnaders lufttätethet finns det ett krav i Nybyggnadsregler (BFS 1988:18) kap 3:13 som anger att den genomsnittliga luftläckningskoefficienten  $q_{50}$  vid 50 Pa tryckskillnad inte får överstiga  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  för bostäder och  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  för andra utrymmen.

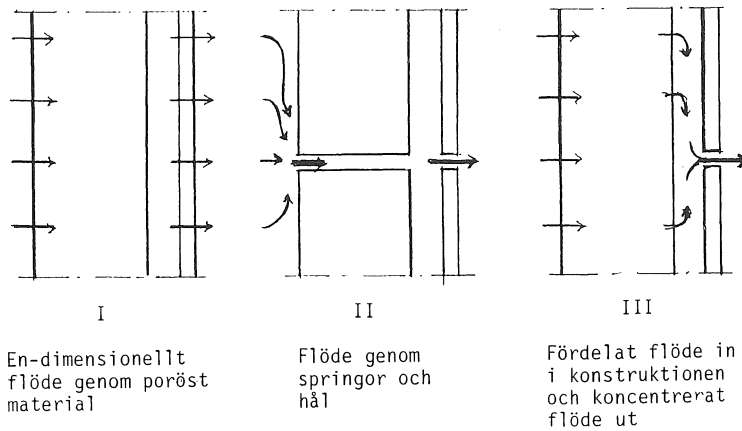
För att räkna om ett sådant värde till andra tryckdifferenser brukar man anta följande samband mellan flöde och tryck

$$q \sim (\Delta p)^{0.7}$$

Använder man detta normvärde för beräkning av fuktkonvektion finner man att det blir orimligt stora fuktmängder som skulle kunna kondensera. Man bör därför överväga hur luftflödet och fuktkonvektionen kan ske. Man kan tänka sig följande modeller enligt figur 3.7.

I fall I blir det i regel små flöden och sannolikt är risken för skadlig fuktkonvektion liten. Beräkningsmässigt kan man behandla det som ett kombinerat diffusions- och konvektionsförlopp, se Sandberg (1971).

I fall II kan det bli stora luftflöden. Extremfallet kan anses vara en frånluftskanal. Den stora luftmängden medför att springans väggar värms upp så att kondensation inte kan ske. Några fall av denna typ har beräknats av Andersson (1981). Det finns naturligtvis fall där kondensation kan ske, t ex om luftströmmen träffar insidan av en fasadbeklädnad. Denna typ av luftläckage torde svara för den övervägande delen av luftläckaget när man gör fältprovningar enligt SS 021551.



Figur 3.7. Flödesmodeller för fuktkonvektion.

I fall III söker sig luften fram till en öppning i yttre skiktet t ex ett vindskydd. Uppvärmningen blir liten och fukten kan kondensera.

Den fukt mängd som kondenserar blir då skillnaden mellan vad som kommer in på den varma sidan och vad som går ut på kalla sidan dels med luftströmmen dels genom diffusion genom det yttre skiktet enligt formeln

$$g_{kond} = g_{in} - g_{ut} - g_{diffusion}$$

Om man förutsätter att diffusionen genom hela väggen är försumbar kan detta skrivas

$$g_{kond} = r \cdot v_i - r \cdot v_x - \frac{v_x - v_u}{Z}$$

där  $r$  är luftflödestätheten i  $m^3/m^2 \cdot s$ ,  $v_x$  är ånghalten vid det yttre skiktets insida i  $kg/m^3$  och  $Z$  är ångmotståndet för det yttre skiktet.

Vid kondensation blir  $v_x$  mättnadsånghalten vid skiktets temperatur och för att precis undvika kondensation skall  $g_{kond} = 0$ . Man kan då räkna ut tillåtet luftflöde  $r_{till}$

$$r_{till} = \frac{v_x - v_u}{v_i - v_x} \cdot \frac{1}{Z}$$

Denna tillåtna luftström kan sägas vara ett mått på konstruktionens konvektionskänslighet.

Man kan få skador även vid lägre RF än 100% (motsvarande kondensation) och man kan i så fall sätta in ett lägre värde på  $v_x$ .

#### Ånghalt inomhus

Som dimensionerande fukttillskott anges  $4 g/m^3$  i Nybyggnadsregler (1988). Detta värde beror emellertid på både fuktproduktionen och ventilationen och kan därför påverkas.

Harderup (1983) har gjort mätningar och utredningar som visar hur ånghalten inomhus kan variera. Erfarenheter från andra fältmätningar visar också att värdet 4

$\text{g}/\text{m}^3$  kan vara ett lämpligt dimensionerande värde som inte överskrids särskilt ofta. För stokastiska beräkningar har använts en frekvenskurva enligt avsnitt 3.3.2. Systematiskt höga värden kan dock förekomma beroende på boendevanor och dålig ventilation. I industrilokaler, samlingslokaler, simhallar m m råder speciella förhållanden.

Exempel.

Trävägg med 200 mm isolering. Utvändigt: träpanel, luftspalt och vindskydd.

Antag  $T_i = +22^\circ\text{C}$ ,  $\text{RF}_u = 85\%$   
Fukttillskott  $4 \text{ g}/\text{m}^3$ .

Om kondens antas ske på vindskyddets insida fås sambandet mellan tillåtet luftflöde, utetemperatur och ångmotstånd hos vindskyddet enligt diagrammet i figur 3.8

Nybyggnadsreglernas krav på lufttäthet motsvarar för ett normalt småhus ungefär

$$\begin{aligned} r &= 70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \quad \text{vid } \Delta p = 1 \text{ Pa} \\ r &= 210 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \quad \text{vid } \Delta p = 5 \text{ Pa} \\ r &= 340 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \quad \text{vid } \Delta p = 10 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Vindskyddens ångmotstånd ligger normalt inom området  $2\text{-}40 \cdot 10^3 \text{ s}/\text{m}$ .

Exemplet visar att det knappast går att undvika kondens av fuktkonvektion om man räknar på detta sätt med Nybyggnadsreglernas värde. Eftersom detta inte stämmer med erfarenheterna för träväggar är det mest troligt att luftflödet till största delen sker genom större håligheter, enligt modell II som tidigare beskrivits. Beräkningsmodellen bör dock kunna användas för att karaktärisera en konstruktions konvektionskänslighet utan att tillmäta absolutvärdena så stor betydelse.

#### *Händelsetråd för fuktkonvektion*

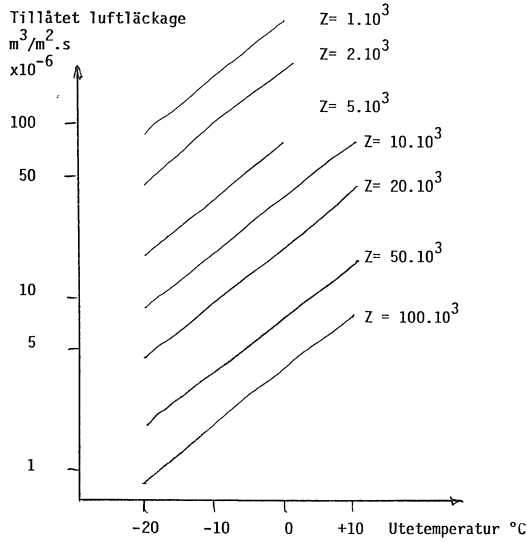
En riskanalys för fuktkonvektion kan sammanfattas i ett händelsetråd enligt figur 3.9.

I detta händelsetråd är praktiskt taget alla parametrar stokastiskt fördelade och om man kände dessa fördelningar skulle man kunna räkna ut risken för kondensation och fördelningen för kondenserbar mängd. De parametrar som vi vet minst om är

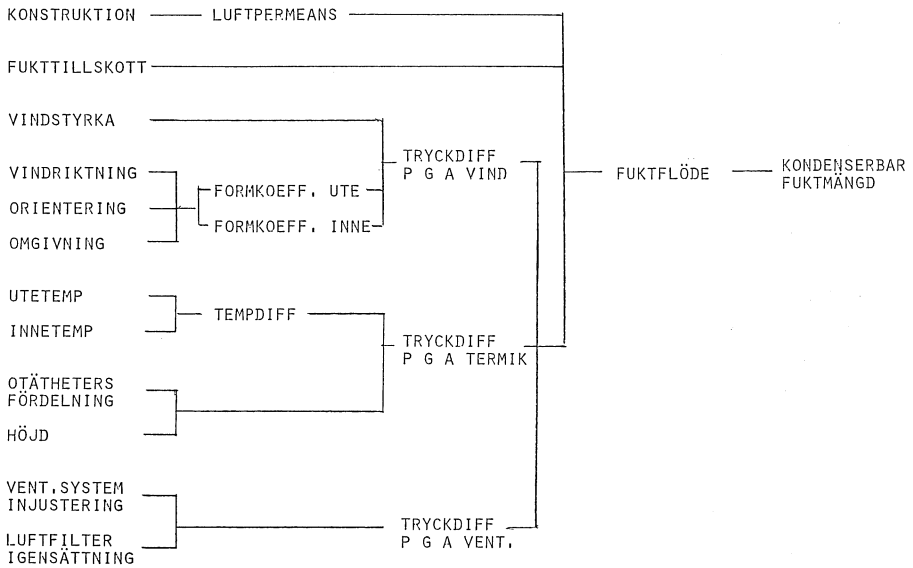
Formkoefficienter. I detalj t ex under ett taksprång för olika anblåsningvinklar. Beroende av omgivande bebyggelse och växtlighet.  
Ötättheternas karaktär och geometri.

För bebyggelse med FT- eller FTX-ventilation är sannolikt ventilationssystemets injustering och drift den viktigaste parametern. För höga byggnader, särskilt i kallt klimat, är termiken särskilt viktig.

Vindskyddets ångmotstånd Z



Figur 3.8. Tillåtet luftflöde vid olika utetemperaturer och ångmotstånd hos vindskyddet.



Figur 3.9. Händelseträ för fuktkonvektion genom en byggnadsdel. FT-ventilation.

## 3.6 Regn och snö

### 3.6.1 Regn

Vertikalt fallande regn kan endast träffa tak och liknande konstruktioner. Dessa skall vara täta mot regn och tätheten kan uppnås på olika sätt.

#### A. Helt täta tak

Exempel: tätskikt av takpapp, takfolie, svetsad eller falsad plåt, gjutasfalt m m.

En riskanalys bör omfatta både risken för att det finns otätheter (hål) i tätskiktet och en bedömning av mängden vatten som kan komma igenom tätskiktet. Härvid spelar taklutningen en stor roll. En låg taklutning kan innebära att vatten kan dämmas upp av olika anledningar. En otäthet i en sådan uppdämning medför att stora vattenmängder kan rinna igenom. Samma otätheter på ett brantare tak skulle kanske inte märkas. Taklutningens betydelse har påpekats vid många tillfällen, senast av Hansson & Nilsson (1987) i en utredning om lyckade och misslyckade tak.

Takpapp, takfolie och svetsad plåt skall vara helt täta. I falsad plåt kan man inte räkna med att falsarna blir helt täta och av den anledningen föreskriver man en viss minsta lutning, så att ev genomläckande vatten blir av obetydlig mängd.

#### B. Tak med överläggsplattor

Exempel: takpannor av tegel eller betong, vissa plåtkonstruktioner, takshingles m m.

Konstruktionen består oftast av en yttertäckning, exempelvis takpannor, som skall avvisa huvuddelen av nederbörden och en undertäckning som skall svara för avledning av sådant vatten som tränger igenom yttertäckningen.

För dessa tak kan regn i kombination med vind vara avgörande för om regnvatten kan tränga igenom yttertäckningen och träffa undertäckningen. Sådant läckage beror mest på vindhastigheten, mängden vatten beror dessutom på regnmängden, Strandberg (1980). Riskanalysen blir därför komplicerad. Dessutom tillkommer att sk förenklad undertäckning inte kan anses vara vattentät, särskilt anslutningarna är svåra att utföra. Traditionell undertäckning av träpanel och papp kan däremot anses vara tät för mindre vattenmängder.

Det finns ingen statistik som kan användas för en detaljerad riskanalys för tak. Däremot finns det utredningar som belyser skadefrekvens allmänt på tak, exempelvis Hansson & Nilsson (1987) och en del utredningar från Statens institut för byggnadsforskning, se Tolstoy & Svennerstedt (1984).

I de fall det förekommer läckage är det sällan möjligt att beräkna fuktillståndet i underliggande konstruktion beroende dels på att vattenmängderna är okända dels på att vattnet på grund av tyngdkraften kan rinna på ett ganska oförutsebart sätt.

### 3.6.2 Slagregn

Väggar och andra vertikala sektioner har inte samma grad av vattentäthet som tak utan regn som faller snett på grund av vinden - slagregn - kan sugas upp eller tränga in i konstruktionen. I många fall är det av intresse att kunna beräkna fuktillståndet efter en sådan regnpåverkan.



Man kan urskilja två principiellt olika förlopp.

- I Regnvatten sugas upp av fasadmaterialet
- II Regnvatten rinner utefter fasadytan och kan rinna in genom fasadbeklädnaden och orsaka skador av olika slag eller sugas upp på andra känsliga ställen, t ex ändträ

Vid kapillärsugande fasadmaterial, t ex fasadtegel, sugas till att börja med allt regn upp av teglet. Insugen fukt mängd bestäms av regnmängden som träffar väggen. Efter en tid kan uppsugningshastigheten bli mindre än slagregnsintensiteten och vattnet börjar rinna på fasaden. Man kan få en viss uppfattning om tiden till sådan filmbildning för enkla elementära fall av materialets kapillärsugning (se Fukthandboken kap 2.5:2).

Trä, och särskilt målat trä har så långsam kapillär uppsugning att vattenfilmen bildas nästan omedelbart. Vid beräkningar är därför slagregnsmängden av mindre intresse, medan i stället tiden då ytan är våt är avgörande. För att få data borde man kunna använda våttidsmätare såsom beskrivits av Svennerstedt (1989).

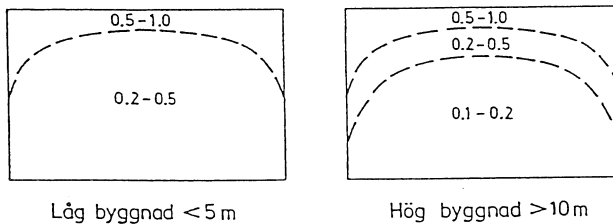
När vatten rinner vertikalt eller något snett utefter en träfasad kan följande inträffa. Jämför även händelseträdet i figur 2.2.

- A. Vatten sugas upp av ändträ.
- B. Vatten träffar fogar, sprickor, kvisthål e d och rinner in bakom fasadbeklädnaden och kan sugas upp bakifrån eller på andra ställen. Vattnet kan också tränga in i bakomliggande konstruktion och orsaka skador på vindskydd, fönsterkarmar, syllar o d eller försämra värmeisoleringen.
- C. Vatten sugas in kapillärt av fogen mellan lockbräda och bottenbräda och kan sugas upp av de obehandlade träytorna.
- D. Vid liggande panel kan vatten föras i sidled mot fönster e d.

För dessa fall gäller att man sällan kan beräkna de uppkommande fuktillskotten, beroende på att hela transportmekanismen är komplex och måste bygga på många bedömningar, för att inte säga gissningar.

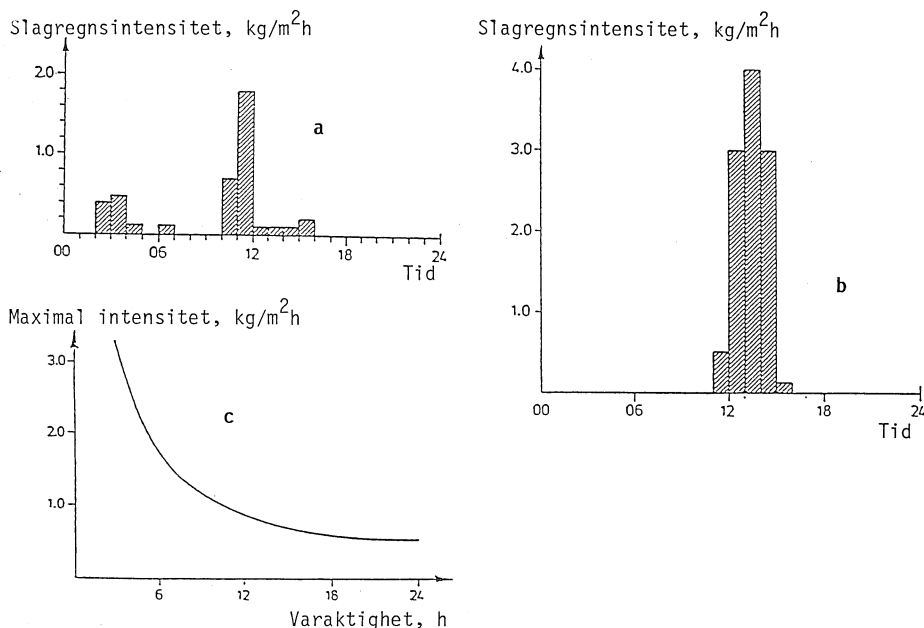
Slagregns mängder har beräknats bl a av Nevander (1949), Varnbo (1966). Byggnadsfysik LTH har dessutom i samband med en skadutredning låtit SMHI göra en datorberäkning av slagregn. Sådana beräkningar grundar sig på meteorologiska observationer. Eftersom nederbörd vid flertalet stationer endast mäts 2 gånger och vindobservationer gör 3 gånger per dygn blir beräkningarna osäkra. Beräkningarna avser endast det s k fria slagregnet och säger inget om hur mycket som träffar en väggyta.

Slagregnet fördelas ojämnt över en fasad. Mest regn träffar områden vid takfot och vid hörn. Sandin (1987) redovisar den relativa slagregnsfördelningen på fasader enligt figur 3.10 baserat på litteraturuppgifter.



Figur 3.10. Relativ slagregnsfördelning på fasader enligt litteraturuppgifter. Det fria slagregnet, mätt i samma riktning, har satts till 1.0. Sandin (1987).

Mätningar av slagregn har gjorts av Järnmark (1968), Sandin (1987). Sandin (1987) har gjort mätningar på fasadslagregn på en industribyggnad i Partille. Figur 3.11 visar några resultat från Sandins mätningar.



Figur 3.11. Några resultat av Sandins (1987) mätningar i Partille. a) Exempel på normalt slagregn. b) Exempel på "extremt" slagregn. c) Samband mellan maximal slagregnsintensitet och varaktighet.

Gemensamt för beräkningar och mätningar är att det kan vara mycket stora variationer mellan olika år och att slagregnet uppträder mycket slumpartat. Geografiskt är Västkusten och Skåne mera utsatta än övriga Sverige, i synnerhet från syd och väst. Utefter hela kusten kan det förekomma enstaka kraftiga slagregn från varierande riktningar. I inlandet förekommer huvudsakligen svagare slagregn.

För fuktberäkningar baserade på årscykler kan man använda de årliga fria slagregnsmängder som anges i Fukthandboken kap 2.2:2 med de reduktioner som anges för det slagregn som träffar en fasad.

Behöver man i beräkningarna använda största medelintensitet under kortare tid kan man få vägledning av Sandins mätningar. 2 kg/m<sup>2</sup>·h kan anses vara en hög regnintensitet på en fasad och som endast kan förekomma högst 6 timmar, se figur 3.11. 0.5 kg/m<sup>2</sup>·h kan anses vara en hög dygnsintensitet.

Skall man göra icke-stationära beräkningar behöver man en fullständig fördelning av slagregnet över tiden. Sådana uppgifter förekommer bara för enstaka provhus under kortare tider.

Det är mycket svårt att ta fram sådana uppgifter ur meteorologiska observationer,

eftersom nederbörd inte mäts kontinuerligt - inte heller hur stor del av det fria slagregnet som träffar fasaden.

Sådana fuktberäkningar måste därför baseras på antaganden.

Bläddrar man i meteorologiska journaler kan man ganska lätt hitta 10-dagarsperioder med regn varje dag från en förhärskande vindriktning. Man kan naturligtvis även finna motsvarande helt utan regn.

### 3.6.3 Snö och yrsnö

Snö faller vanligen så att det endast blir liggande på horisontella tak eller måttligt lutande tak. När snön smälter beroende på värmeförsel utifrån eller inifrån bildas vatten som kräver att taket är tätt mot vatten. Återfrysning och isvallsbildning kan medföra att det kan uppstå större vattentryck på ett snötäckt tak än om det bara regnar på taket. Isbildning kan också medföra särskilda påfrestningar på takbeläggningen, Fahlström (1980).

Snötäcket ger också en extra värmeisolering när det är kallt ute och en avkylning av takytan när det är plusgrader vilket kan påverka fuktbalansen i taket. Snötäcket påverkar också in- och utstrålning på taket.

Yrsnö kan under vissa förutsättningar driva in i ventilationsöppningar. När snön smälter kan den ge fuktskador. Förutsättningen är att snön "fyker", dvs att det blåser och vinden bär med sig tämligen små snökorn. Risken för fykande snö torde vara störst på kalvfället och i öppet landskap.

För att undvika att yrsnö driver in genom ventilationsöppningarna skall man försöka bryta luftströmmen så att den inte kan tränga igenom öppningen med oförändrad hastighet.

Som fuktkälla för tillståndet inuti en konstruktion kan snö och yrsnö sällan beaktas vid kvantitativa beräkningar.

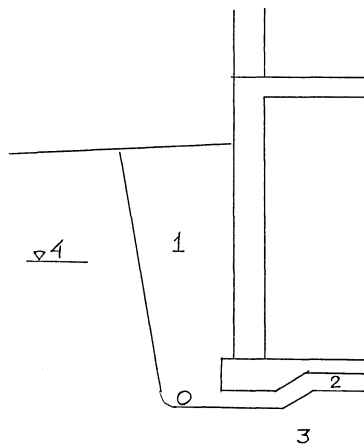
## 3.7 Läckage från installationer

De senaste decennierna har försäkringsbolagens sammanlagda ersättning för skador, orsakade av utströmmande vatten från ledningssystem, ökat avsevärt.

Denna typ av påverkan brukar normalt inte ingå i fuktdimensioneringen. Även om skadeorsakerna inte behandlas här bör man i en riskanalys ta hänsyn till att skadans omfattning och kostnad är beroende av konstruktionens utformning. Se avsnitt 2.6.2.

## 3.8 Markfukt

För konstruktioner i kontakt med mark används följande dimensioneringsprinciper, tillämpade på en vanlig källargrund enligt figur 3.12. Principerna kommenteras samtidigt.



Figur 3.12. Fuktpåverkan på källarvägg.

1. Fritt vatten på markytan kan rinna fram till grundmuren. Alternativt kan slagregn mot ovanförliggande fasad och takavlopp rinna ned till källarväggen. Därför ordnas en dränerande återfyllning som avvattnas genom dräneringsledningen och källarväggens ytteryta görs vattenavvisande.

I kommentarer till byggnormer har ofta rekommenderats att marken invid en byggnad skall luta 1:50 från byggnaden på en sträcka av 3 m. Om man har en sådan lutning bör inte regnvatten kunna rinna in mot byggnaden. Man kan emellertid tänka sig att ursprunglig mark har lutning mot huset under en uppfyllnad.

På horisontell mark är det normala att allt regnvatten infiltreras i marken och sannolikheten att detta vatten tränger ut i schaktslänten är mycket liten. Om regnvattnet inte infiltreras kan marklutningen vara av betydelse. Detta gäller särskilt hårdgjorda ytor. Vatten från större markområden som lutar mot byggnaden bör avvattnas genom ett avskärande dike.

Ett specialfall utgör vatten från snösmältning. Man får räkna med att det är tjäle i marken under snön och att den därför är ogenomtränglig för vatten. Smältvattnet kommer först att till stor del sugas upp av snön och sedan rinna på marken varvid lutningen kan vara av betydelse. Snösmältningen börjar normalt intill byggnaden på grund av värmeavgivningen från denna och man kan därför tänka sig en extra påfrestning närmast byggnaden.

Slagregn som träffar fasaden rinner normalt ned intill grundmuren, jämför händelse-trädet i figur 2.2. I trakter med mindre slagregnpåfrestning blir vattenmängden troligen liten särskilt om fasaden är vattenabsorberande.

Tak skall normalt avvattnas så att allt vatten tillförs dagvattenavloppet. Det händer emellertid att hängrännor är trasiga eller översvämmas och att stuprör är igensatta. I sådana fall kan avsevärda vattenmängder koncentreras intill grundmuren.

Återfyllnaden skall vara dränerande så att det inte kan byggas upp några vattenöverskyck mot grundmuren och dräneringsledningen måste kunna ta emot och avbörda dessa vattenmängder.

Vatten som sipprar ned genom en sådan återfyllnad kommer även att nå grundmuren i vätskefas. För att inte vatten skall tränga in i grundmuren skall den enligt Ny-

byggnadsregler "förses med ett skikt som hindrar skadlig kapillärsugning från marken och som leder ut vatten som sjunker ned utmed väggen, såvida inte dessa delar är vattentäta eller okänsliga för fukt". Vad som menas med detta har emellertid aldrig specificerats.

2. *Fritt vatten kan finnas på grundbotten. Därför lägger man in ett kapillärbrytande och dränerande lager som hindrar vatten att i vätskefas komma i kontakt med grundkonstruktionen och som kan dränera ut vattnet till dräneringsledningen.*

Frågan är om det finns något annat fenomen än grundvatten som kan åstadkomma denna effekt. Det kan då vara den "vanliga" grundvattenytan, en sekundär grundvattenyta eller sprickvatten i lermark.

Eftersom kapillärsugning in i en konstruktion går mycket snabbare än uttorkningen kan även en tillfällig kortvarig höjning av vattenytan åstadkomma avsevärd skada.

Även om grundvattenytan ligger under schaktbotten kan kapillärsugning ske upp till källargolvet, men den kapillära stighöjden får då räknas från denna grundvattenyta.

Om dräneringsledningen inte fungerar kan vatten som tränger ned enligt fall 1 rinna in på grundbotten.

3. *Relativa fuktigheten RF i markens luftporer är 100%. För att skydda innanförliggande fuktkänsliga konstruktioner anordnas ångspärr eller fuktspärr eller sänks RF genom ett temperaturfall över en isolering.*

RF torde i regel vara 100%. Värmeflödet från byggnaden skulle teoretiskt kunna driva undan fukten men kapillärsugningen i marken är nästan alltid tillräckligt kraftigt för att motverka temperatureffekten.

Mest rationellt för att hindra ångdiffusion och även kapillärsugning enligt fall 2 borde vara att lägga en kraftig fuktspärr under källargolvet (betongplattan). Denna metod används ofta utomlands men har aldrig varit populär i Sverige troligen av följande skäl. Betongplattan måste tork ut uppåt under tämligen lång tid och med den svenska byggtakten är detta svårt att passa in i byggprocessen. Man är rädd för att fuktspärren skall skadas under byggnadstiden och att dess beständighet skall vara otillräcklig. Enstaka misslyckande där vattnet samlats ovanpå fuktspärren som i ett tråg har avskräckt.

Genom att lägga värmeisoleringen under betongplattan får man en temperaturdifferens som gör att RF i betongplattan blir lägre än i marken. Förutsättningen är att det förekommer ett tillräckligt stort värmefflöde ner genom marken och utåt sidorna. Vid små plattor är detta inget problem men vid stora plattor är det tveksamt om metoden kan användas.

Även med underliggande värmeisolering blir RF alltid hög för trä och under trägolv och träsyllar måste man oftast lägga in en ångspärr eller en fuktspärr för att även hindra kapillärsugning.

Det bör påpekas att om man inte har några täta skikt eller fuktkänsliga material på insidan kan man tillåta ångdiffusion in i källaren. Mängden vatteånga blir så liten att den endast påverkar rumsklimatet marginellt.

4. *Högsta grundvattenyta över grundbotten. Konstruktionen göres vattentät eller vattenytan sänks genom dränering ev med pumpning.*

Man måste skilja mellan om grundvattenytan mer eller mindre permanent ligger över grundbotten eller om det bara sker tillfälligt. Det första fallet behandlas inte här och det andra har delvis behandlats som fall 2. Detta fall kan också vara dimensionerande

för dräneringsledningen och de dränerande skikten.

Dessa dimensioneringsfall kan vara lämpliga för vanlig dimensionering men kan inte utnyttjas för en riskanalys. Vi vet att det finns många hus som fungerar utan dränering och utan kapillärbrytande skikt, men vi kan inte avgöra hur ofta de angivna dimensioneringsfallen uppträder. Det förefaller inte heller finnas någon enkel metod att bestämma dessa sannolikheter.

De skador som kan orsakas av markfukt är ofta kostsamma, samtidigt som erforderliga motåtgärder är förhållandevis billiga.

En ekonomisk riskbedömning och praktisk erfarenhet motiverar därför att man noggrant ser till att man får fungerande dränering och kapillärbrytning.

För ordningens skull påpekas att ett dräneringssystem består av dränerande skikt intill källarvägg och under betongplatta och en dräneringsledning som kan leda bort vattnet.

Som kapillärbrytande skikt under betongplatta används normalt grus, singel, makadam eller lättklinker vars kapillära stighöjd bör vara mindre än halva skiktjockleken. Det är emellertid tveksamt om man skall lita till ett enda sådant skikt. Skiktet kan lätt förorenas fläckvis av finmaterial och då är effekten borta. För att öka säkerheten borde man komplettera med ytterligare ett skikt. Underliggande värmeisolering av mineralull eller cellplast kan utgöra en sådan komplettering.

## 4 TRÄREGELVÄGGAR

### 4.1 Diffusionsberäkning. Året runt

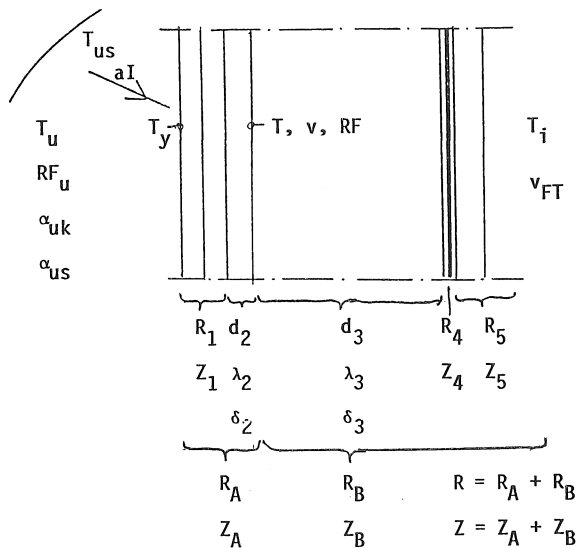
I detta avsnitt beräknas fuktillståndet och skaderisken på vindskyddets insida i en vanlig träregelvägg med träpanel som fasadskikt.

Beräkningen utföres i princip som en vanlig diffusionsberäkning under stationära förhållanden men med den skillnaden att flertalet parametrar får variera stokastiskt och vidare tas hänsyn till sol- och himmelsstrålning. Beräkningen utföres enligt MC-metoden med 1800 beräkningar.

Väggen antas uppbyggd av fem delar.

1. Fasadskikt + luftspalt
2. Vindskydd bestående av ett materialskikt
3. Värmeisolering 200 mm inkl träreglar
4. Ångspärr
5. Innerpanel

Beräkningsmodellen baseras på figur 4.1. Luftspalten förutsättes oventilerad. Övergångsmotstånd på insidan räknas in i  $R_5$  och  $Z_5$ .



Figur 4.1. Träyttervägg, uppbyggnad, klimatpåverkan och randvillkor.

En energibalanskvation för fasadytan ger

$$T_y = \frac{T_u \cdot \alpha_{uk} + T_{us} \cdot \alpha_{us} + T_i/R + a \cdot I}{\alpha_{uk} + \alpha_{us} + 1/R}$$

$$\alpha_{uk} = 12$$

$$\alpha_{us} = 5.7 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\left(\frac{T_y + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{us} + 273}{100}\right)^4}{T_y - T_{us}}$$

$$T = T_y + R_A \cdot (T_i - T_y) / R$$

$$v = v_u + Z_A \cdot (v_i - v_u) / Z$$

$$R_A = R_1 + d_2/\lambda_2$$

$$Z_A = Z_1 + d_2/\delta_2$$

$$R_B = d_3/\lambda_3 + R_4 + R_5$$

$$Z_B = d_3/\delta_3 + Z_4 + Z_5$$

$$R = R_A + R_B$$

$$Z = Z_A + Z_B$$

$$v_i = v_u + v_{FT}$$

$$v_u = \text{RF}_u \cdot v_s(T_u)$$

$$\text{RF} = v/v_s(T_u) \quad \text{RF} < 1$$

Det framgår av sammanställningen ovan att fuktillståndet vid vindskyddets insida blir en funktion av ett tjugotal parametrar.

Flertalet av dessa parametrar antas ha osäkerheter som beskrivs med en trunkerad frekvensfördelning, se avsnitt 3.1, 3.2 och 3.3. De i denna beräkning använda värdena framgår bilaga A, B och C.

Temperatur och RF utomhus baseras på femdygnsvärden. Det har ansetts lämpligt att också basera solstrålningen på medeltalet av fem dygn där molnigheten väljs slumpmässigt inom given frekvensfördelning. Absorptionsfaktorn har satts till 0.7.

Beräkningarna har utförts för Skåne, Västerås och Kiruna och för varannan månad under året. I vissa fall har klimatvariabler inte hämtats från samma station.

Resultaten framgår av tabell 4.1. I tabellen redovisas  $\text{RF}_{\text{medel}}$  och dess standardavvikelse i %-enheter samt temperaturen. Med ledning av dessa uppgifter har risken för mögelväxt beräknats enligt avsnitt 2.5.1. Med hänsyn till den stora osäkerheten i mögelkurvan, figur 2.5, särskilt temperaturinverkan, har riskerna endast angetts på en tiopotens när. Ett streck i tabellerna innebär att risken är 1:1000000 eller mindre.



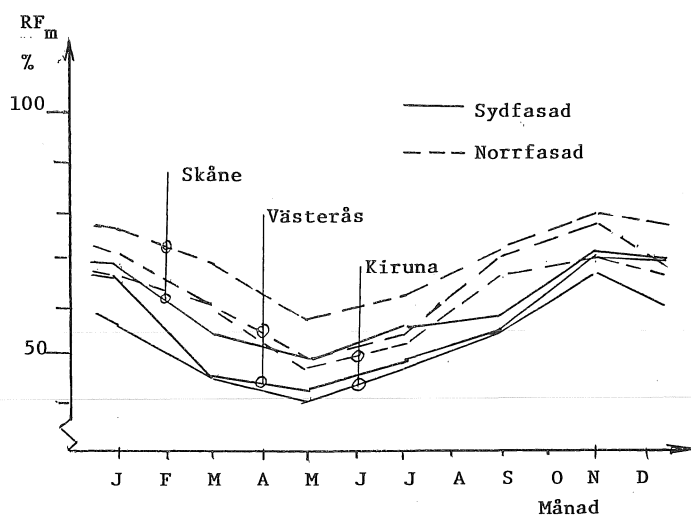
Tabell 4.1. Fukttillstånd vid vindskyddets insida och risk för mögelväxt (för trä).

Månad	Riktning	RF <sub>m</sub> %	$\sigma$ %RF	T <sub>m</sub> °C	Risk för mögel
SKÅNE					
Jan	Syd	69.1	4.5	2.5	1:10000
	Nord	76.5	3.1	0.9	1:1000
Mars	Syd	55.0	5.4	7.6	-
	Nord	69.5	3.5	4.3	1:10000
Maj	Syd	49.0	5.4	17.5	-
	Nord	57.9	5.4	14.7	1:10000
Juli	Syd	56.1	4.3	22.5	-
	Nord	62.6	4.0	20.5	1:10000
Sept	Syd	58.1	4.7	18.7	1:100000
	Nord	72.4	3.3	15.2	1:100
Nov	Syd	71.9	2.5	7.0	1:10000
	Nord	79.7	2.5	7.0	1:1000
VÄSTERÅS					
Jan	Syd	65.8	4.5	-1.6	-
	Nord	71.6	3.6	-2.8	1:100000
Mars	Syd	45.7	5.9	5.3	-
	Nord	60.6	5.2	1.2	-
Maj	Syd	42.9	6.1	16.6	-
	Nord	49.7	6.5	13.9	-
Juli	Syd	48.5	5.9	22.7	-
	Nord	54.8	6.5	20.5	1:10000
Sept	Syd	55.5	5.1	16.7	1:100000
	Nord	70.9	3.9	12.8	1:100
Nov	Syd	70.6	4.1	5.3	1:10000
	Nord	77.8	2.9	3.9	1:1000
KIRUNA					
Jan	Syd	56.2	4.8	-10.3	-
	Nord	66.4	3.9	-12.4	-
Mars	Syd	45.1	5.9	-2.7	-
	Nord	60.2	4.8	-6.3	-
Maj	Syd	40.5	6.3	8.8	-
	Nord	47.2	6.6	6.6	-
Juli	Syd	47.2	6.2	18.2	-
	Nord	51.8	6.3	16.7	1:100000
Sept	Syd	55.1	5.7	9.7	-
	Nord	66.6	5.1	6.6	1:10000
Nov	Syd	57.2	5.3	-2.8	-
	Nord	69.6	3.5	-5.1	1:100000

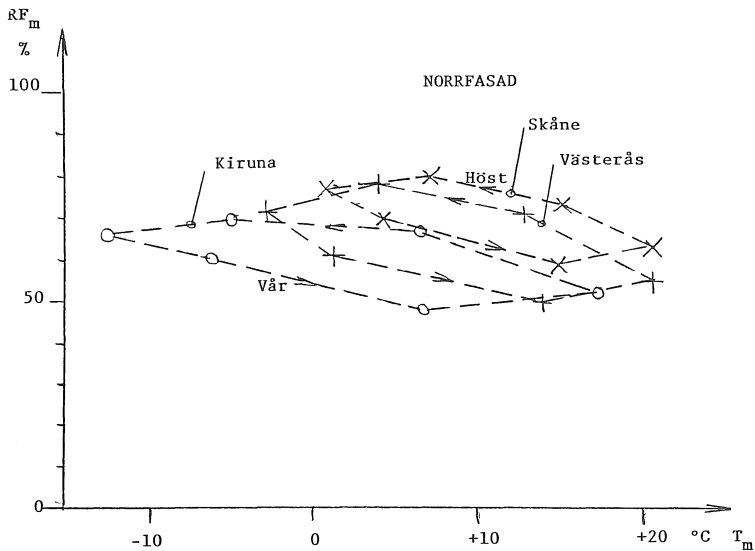
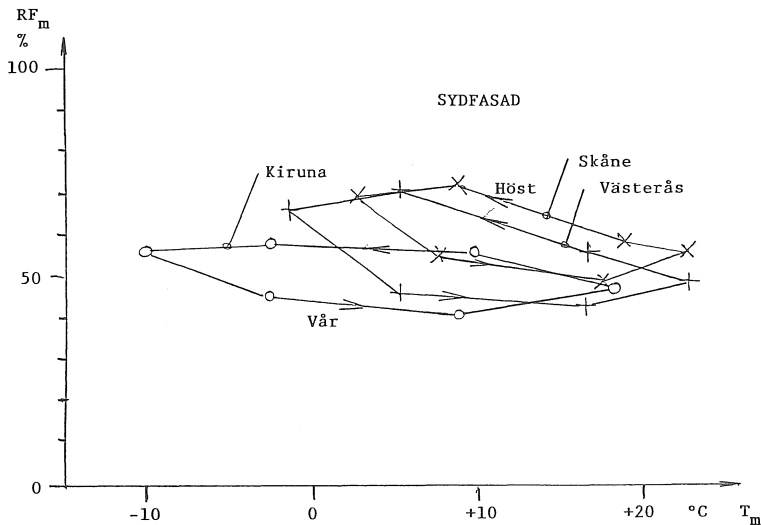
När man skall tolka resultaten bör man komma ihåg att väggen är försedd med en ångspärr av plastfolie. Även om vi räknat med att denna slumpvis kan vara sämre än väntat, lägst 1/4 av normalvärdet, kommer fuktillståndet att till största delen bestämmas av uteklimatet.

Av skillnaden mellan nord- och sydvägg och av temperaturen på vindskyddets insida framgår att den kortvågiga instrålningen har stor betydelse. Även på norrväggen har instrålningen stor betydelse. Man kan då fråga sig om vi räknat strålningen rätt. Den konvektiva värmeöverföringskoefficienten  $\alpha_{uk}$  har stor inverkan och denna har satts till 12 W/m<sup>2</sup>K, vilket förefaller vara ett normalt värde. För den långvågiga utstrålningen har motstrålande temperatur förutsatts vara lika med uteluftens temperatur. Därigenom har nattutstrålningen försumrats men detta borde inte vara avgörande för väggen. För tak är det däremot tveksamt om det kan vara tillåtet att försumma utstrålningen.

Hur relativa fuktigheten på vindskyddets insida varierar över året framgår av figur 4.2 och 4.3.



Figur 4.2. Variation av relativ fuktighet på vindskyddets insida under året.

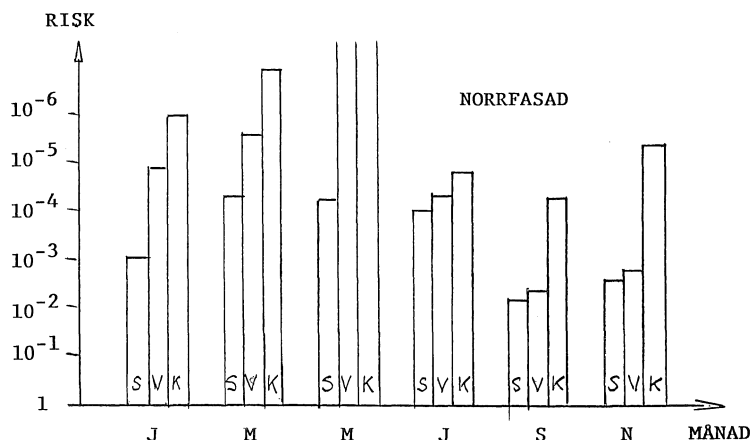


Figur 4.3. Relativ fuktighet på vindskyddets insida som funktion av temperaturen på samma ställe under året.

Det är anmärkningsvärt att RF i samtliga fall är högre i november än i januari. Förklaringen är att fuktillståndet styrs av uteluftens tillstånd när man har en fungerande ångspärr och fuktflödet inifrån därigenom blir försumbart. Den lägre temperaturen i januari medför att det blir proportionsvis större temperaturfall mellan vindskyddets insida och uteluften och därigenom blir också RF proportionsvis lägre i januari än i november. Denna effekt dominerar över inverkan av solstrålning som är något större i november.

De lägre RF-värdena under vår och sommar förklaras av solstrålningen och av att RF i uteluften är lägre.

Risken för mögeltillväxt redovisas i tabell 4.1 och även i figur 4.4.



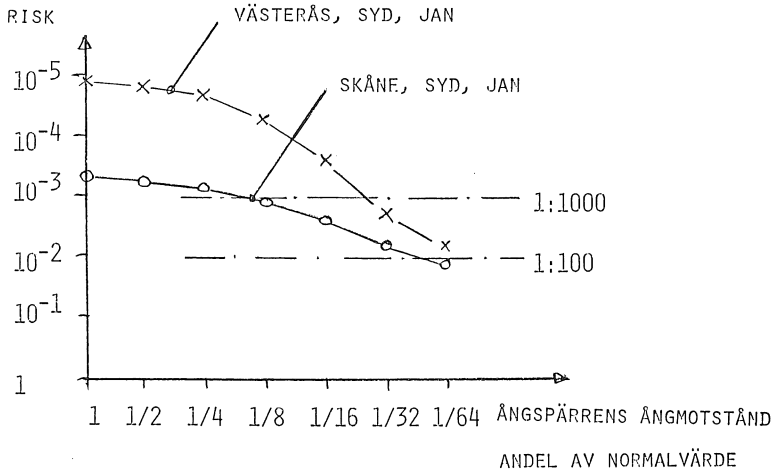
Figur 4.4. Risk för mögeltillväxt på vindskyddets insida (om det hade varit av trä).

Riskbestämningen visar klart att det är större risk för mögeltillväxt i södra Sverige än i norra. Det är en brist att mögelkurvan enligt figur 2.5 endast är angiven för tre temperaturområden. Vid gränstemperaturerna blir det då stora hopp i riskerna.

Som framgår av tabell 4.2 blir risken för mögeltillväxt för nordvägg i Skåne under september 1:100 vilket innebär en stor risk, och som nog inte kan sägas svara mot de praktiska erfarenheterna. Man bör emellertid komma ihåg att vindskyddet sällan utförs av trä och att förutsättningarna för mögelpåväxt på träfiberskiva e.d. sannolikt är andra än för trä. Vindskyddets insida ligger i samma plan som reglarnas utsida och fuktillståndet på reglarnas utsida är likartat. Dock uppstår en viss köldbryggeeffekt som gör regelns utsida varmare.

## 4.2 Inverkan av försämrade ångspärr

Med samma förutsättningar som i föregående avsnitt 4.1 har beräkningar utförts av inverkan av försämrade ångspärr. Som värde på ångmotståndet  $Z$  hos ångspärren har använts 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 och 1/64 av det värde som använts tidigare och som finns angivet i bilaga A. Beräkningarna har begränsats till Västerås och Skåne och till sydfasaden i januari. Resultaten framgår av figur 4.5.



Figur 4.5. Risk för mögelpåväxt vid olika reduktion av ångspärrens ångmotstånd.

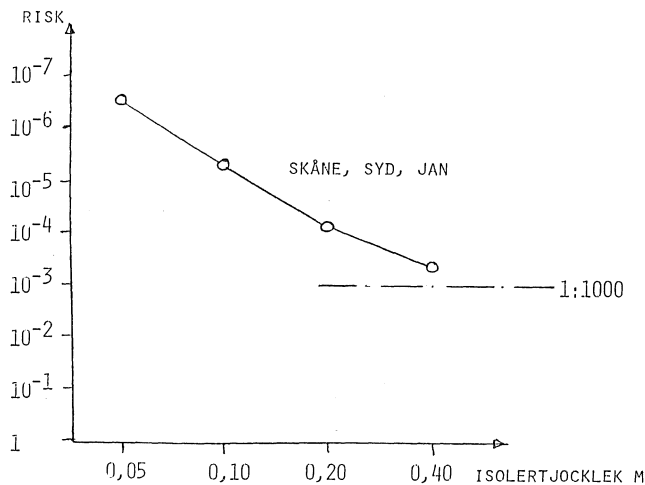
Vid bedömning av resultaten kan man se att ångspärrens  $Z$  kan vara reducerat till ca  $1/4$  utan att risken påverkas nämnvärt. Detta kan också uttryckas så, att fuktillståndet innanför vindskyddet styr av uteklimatet. Vid försämring av ångspärren ytterligare kommer diffusionen inifrån att få växande betydelse.

För att åskådliggöra vad  $1/64$  av en normal ångspärr  $Z$  betyder kan följande anges. Normalt räknar vi med  $Z = 2000 \cdot 10^3$  s/m i medeltal enligt bilaga A.  $1/64$  av detta värde blir  $31 \cdot 10^3$  s/m vilket motsvarar en vindskyddspapp eller en målningsfilm (alkyd). Storheten är dessutom stokastiskt fördelad vilket innebär att i 5% av fallen räknas med värden som är mindre än hälften av de angivna.

Man får emellertid inte glömma bort att ångspärren inte enbart skall hindra diffusion utan ge en luftspärr som hindrar fuktkonvektion. Bristen i lufttätningen i konstruktion med övertryck inomhus kan medföra stora skador, jämför avsnitt 3.5.

### 4.3 Inverkan av isolertjocklek

Med samma förutsättningar som i de två föregående avsnitten 4.1 och 4.2 har inverkan av isolertjocklek beräknats. I beräkningen har räknats med isolertjocklekarna 0.05, 0.10, 0.20 och 0.40 m. Beräkningen har begränsats till sydfasad i Skåne i januari. Resultaten framgår av figur 4.6.



Figur 4.6. Risk för mögelpåväxt vid olika isolertjocklek.

Av figuren framgår att risken ändrar sig ungefär med en tiopotens när isolertjockleken ändras med en faktor 2. Vid tjocka isoleringar bestäms fuktillståndet av uteklimatet.

#### 4.4 Indragen ångspärr

Indragen ångspärr används i ytterväggar för att man skall kunna utföra installationer på väggens insida utan att behöva skada luft- och ångtätning.

Frågan är då hur stor del av värmeisoleringen eller värmemotståndet som kan placeras på ångspärrens insida. Avgörande är att träreglarna mot ångspärrens insida inte får utsättas för riskabelt höga fuktillstånd.

Beräkningar enligt Monte Carlo-metoden har utförts på i princip samma sätt som i föregående kapitel 4.1 och med samma parametervärden, dock med följande två skillnader.

- Hänsyn till solstrålning har inte tagits.
- "Mögelkurvan" har inte tagits med i beräkningen utan resultatet anges som en fördelningskurva för RF intill ångspärren på varma sidan.

Beräkningarna har genomförts för en indragning av ångspärren motsvarande 0.40, 0.50 och 0.60 av isoleringens tjocklek som nominellt var 160 mm. Hänsyn till köldbryggor har inte tagits. Resultaten framgår av tabell 4.2.

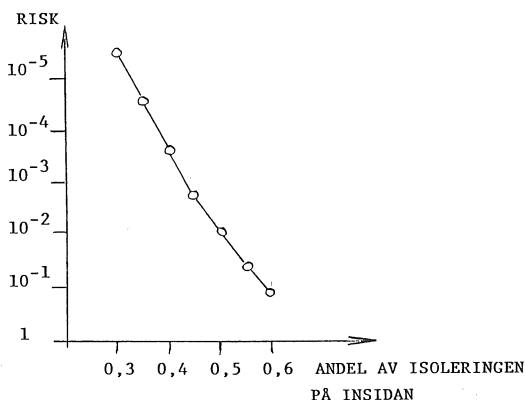
Tabell 4.2. Relativ fuktighet RF på ångspärrens insida vid olika indragning av ångspärren. Januari månad.

Andel av isolering på insidan av ångspärr	RF i %, m medelvärde $\sigma$ standardavvikelse					
	Malmö		Västerås		Kiruna	
	m	$\sigma$	m	$\sigma$	m	$\sigma$
0.40	58	9	55	8	51	11
0.50	66	8	63	9	62	13
0.60	74	9	74	12	78	14

Då man skall bedöma dessa värden kan man utgå från tabell 2.4 som anger risken för mögelpåväxt, bedömd från "mögeltkurvan" (figur 2.5) när påverkanskurvan är normalfördelad. Av tabell 2.4 framgår t ex att vid risken 1:1000 bör  $RF_{dim}$  vara 54% vid 20°C och 62% vid 8°C vid standardavvikelsen 10%-enheter.

Temperaturen vid ångspärren beror av indragningen och av klimatet. I detta räkneexempel kan det variera mellan ca +13°C i Malmö och ca 0°C i Kiruna vid 0.4 respektive 0.6 indragning. Man får räkna med att man får de högsta RF-värdena vid de lägsta utetemperaturerna. Riskbedömningen blir därför ganska osäker, i synnerhet som mögeltkurvas temperaturberoende är osäkert.

En annan beräkning där risken har beräknats ur mögeltkurvan och där inverkan av solstrålning har medtagits har gett resultat enligt figur 4.7.



Figur 4.7. Beräknad risk för mögeltillväxt vid indragen ångspärr. Västerås, januari.

En rimlig bedömning synes dock vara att man kan godta 40% indragning om man accepterar risken 1:1000.

Man kan här erinra om att det inte var särskilt länge sedan man baserade dimensioneringen på 100% RF intill ångspärren, varvid man dock kunde lägga in en viss säkerhet i valet av fukttillskott inomhus och utetemperatur.

## 5 TAKPANEL ÖVER KALLVIND

### 5.1 Energi- och fuktbalanser

I trätak över vindsutrymmen är det framför allt takpanelen som kan innebära fuktproblem. Mögel och blånad förekommer ibland och man har allmänt uppfattningen att plywood är mera utsatt än massiv träpanel. Fukttillståndet i träpanelen är direkt knutet till temperaturtillståndet varför beräkningar även måste inkludera temperatur.

Man kan omedelbart konstatera att temperatur- och fukttillstånd här blir beroende av ett stort antal parametrar. De som kan bedömas som mest väsentliga är följande:

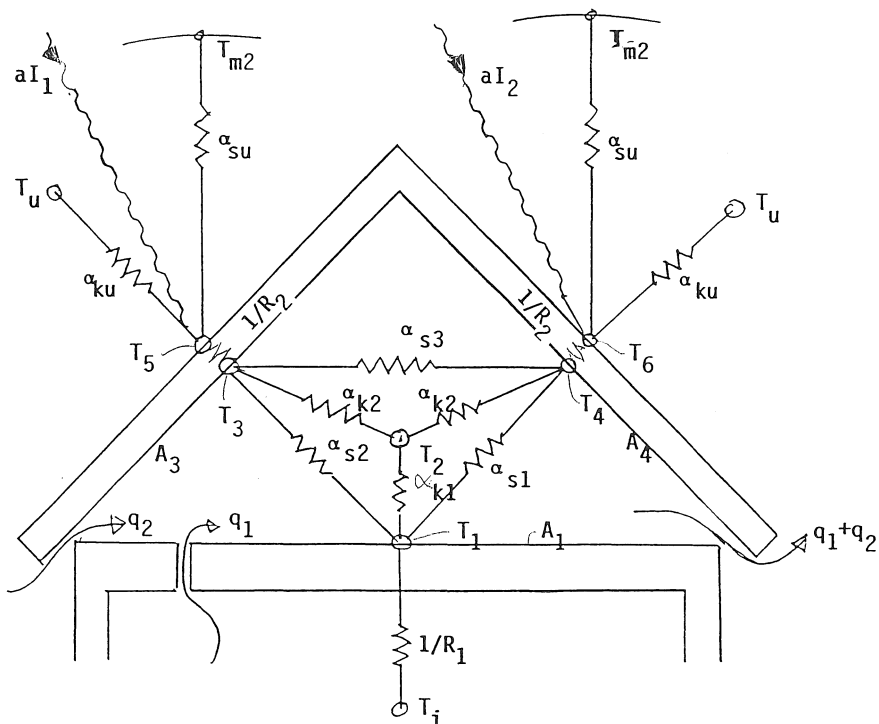
- Vindsutrymmets geometri
  - Värmemotstånd i vindsbjälklag och yttertakkonstruktion
  - Vindhastighet, formfaktorer
  - Ventilationsareor för luftutbyte mellan uteluft och kallvindsluft
  - Otätheter i vindsbjälklaget
  - Tryckförhållanden under och över vindsbjälklaget
  - Temperatur utomhus
  - Relativ fuktighet utomhus
  - Inomhustemperatur
  - Fuktproduktion i inomhusluften
  - Solstrålning mot takytor, lutning och orientering
- 
- Strålningsutbyte mellan ytor, motstrålande temperatur
  - Övriga materialegenskaper som ånggenomsläpplighet och sorptionskurva för takpanel

En beräkningsmodell som tar hänsyn till flertalet av de nämnda faktorerna kan baseras på energi- och fuktbalanser enligt figur 5.1 och 5.2. Figurerna är avsedda att också förklara använda beteckningar.

Följande antaganden görs:

Vid beräkning av fukt och värmeutbyte mellan skivor och omgivning förutsätts att detta sker likformigt över hela respektive yta.





Figur 5.1. Energibalans för kallvind, beteckningar.

Sex obekanta temperaturer införs, lika många energibalanskvationer kan ställas upp varur  $T_1$  till  $T_6$  kan lösas. Från skiktens värmekapacitet bortses.

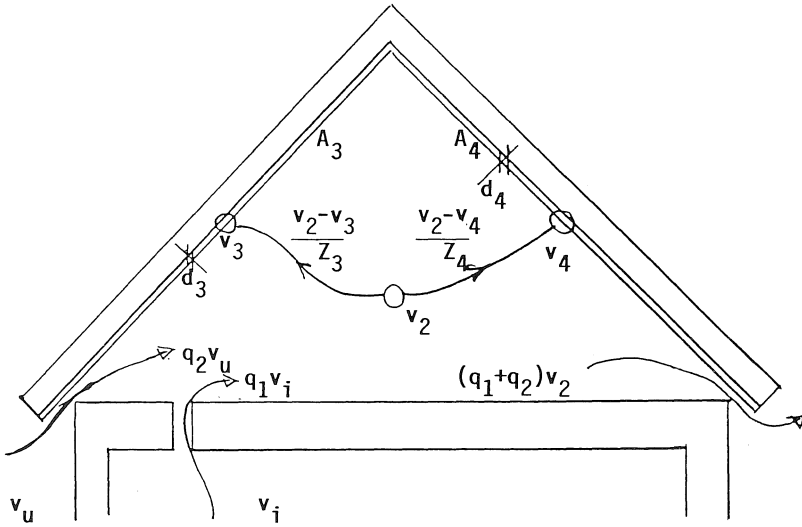
Luftflödena  $q_1$  och  $q_2$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) kan också tecknas

$$q_1 = n_\ell \cdot V_o / 3600$$

$$q_2 = n_v \cdot V_o / 3600$$

$V_o$  vindsutrymmets volym ( $\text{m}^3$ )  
 $n_\ell$  läckning inifrån (oms/h)  
 $n_v$  uteluftsventilation (oms/h)

Strålningsutbytet mellan ytorna  $A_1$ ,  $A_3$  och  $A_4$  beaktas enligt Johannesson (1981).



Figur 5.2. Fuktbalans för kallvind, beteckningar.

Fuktberäkningen utförs icke stationärt. Tre obekanta ånghalter införs  $v_2, v_3, v_4$ .

- $v_2$  ånghalt i vindsutrymmet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $v_3, v_4$  ånghalter i panel ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Panelen kan indelas i ett antal element (skivor). I så fall skall  $v_3$  och  $v_4$  tolkas som fuktstillstånd i materialet närmast vindsluften. Man kan alternativt simulera inverkan av en fuktkapacitet genom att låta den representeras av en enda skiva som då är några millimeter tjock.

För vindsluften gäller följande fuktbalans, tids-elementet  $dt$  betraktas.

$$A = B + C + D \tag{5.1}$$

- $A = (q_1 * v_i + q_2 * v_u)$  tillförsel med luftflödena
- $B = (A_3 * dG_3 + A_4 * dG_4)/dt$  lagras i  $A_3$  och  $A_4$
- $C = V_0 * dv/dt$  lagras i vindsluften
- $D = (q_1 + q_2) * v_2$  utflöde med luftflödena

där  $G$  är lagrad fuktmängd i  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

Vid fortvarighetstillstånd erhålls

$$v_\infty = (q_1 \cdot v_i + q_2 \cdot v_u)/(q_1 + q_2) \tag{5.2}$$

Det momentana  $v$  kan också skrivas

$$v = v_\infty - (B + C)/(q_1 + q_2) \tag{5.3}$$

Då årscykler studeras blir den andra termen i ekvation 5.3 periodisk på så sätt att vintern kan bli en uppfuktningssperiod och sommaren en uttorkningsperiod.

Ovan angivna beräkningssätt är i första hand avsett för icke stationära fall men har även använts för stationära fall med vissa modifikationer.

## 5.2 Stationära fall

Ovan angivna beräkningsförfarande är förhållandevis komplicerat, vilket medför att det är mycket tidskrävande - men inte omöjligt - att använda Monte Carlo-metoden. I stället har därför valts att göra en parameterstudie. Detta kan också vara motiverat av att vår kännedom om ventilationen på vinden och läckaget genom bjälklaget är tämligen dålig.

Parameterstudien är upplagd så att jämförelse kan göras med ett nollfall. Sju varianter utöver nollfallet beräknas och för dessa räknas dels inget läckage genom bjälklaget dels ett läckage motsvarande  $n_l = 0.2$  oms/h. Fukttillskottet inomhus har antagits vara  $4 \text{ g/m}^3$ . Klimatfaktorer utomhus och i rumsluften hålls konstanta vilket innebär att fukttillståndet efter en tid blir konstant - stationära förhållanden. Fukttillståndet i träpanelen redovisas som fuktkvot.

Av tabell 5.1 framgår de beräknade varianterna och resultaten framgår av tabell 5.2.

Tabell 5.1. Beräknade varianter.

Fall	$R_i$ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	$n_v$ oms/h	$a \cdot I$ $\text{W/m}^2$	$T_m$ $^{\circ}\text{C}$	$T_u$ $^{\circ}\text{C}$
0	2.5	2	50	+2	+5
1	5	-	-	-	-
2	-	1	-	-	-
3	-	-	100	-	-
4	-	-	-	-1	-
5	-	-	-	-	+10
6	-	0.5	-	-	-

$R_i$  = vindsbjälklagets värmemotstånd

$n_v$  = ventilation av uteluft

$a \cdot I$  = absorberad kortvägig strålning

$T_m$  = motstrålande temperatur

$T_u$  = utetemperatur

Tabell 5.2. Beräknade fuktkvoter i takpanelens ytskikt.

Fall	Fuktkvot $u$ %		$\Delta u / \Delta \ell$
	$n_\ell = 0$	$n_\ell = 0.20$	
0	15.4	16.5	5.5
1	16.3	17.4	5.5
2	15.3	17.7	12.0
3	13.6	14.7	5.5
4	16.9	18.0	5.5
5	15.9	16.8	4.5
6	15.6	21.8	31.0

I tabell 5.2 har även beräknats känsligheten för läckage inifrån genom kvoten  $\Delta u / \Delta n_\ell$  (%-enhet fuktkvot per läckflöde angett i oms/h). Det mycket tydliga men inte överraskande resultatet är att känsligheten för läckage inifrån är mycket stor om uteluftsventilationen är liten. I övriga fall har uteluftsventilationen en överraskande liten inverkan.

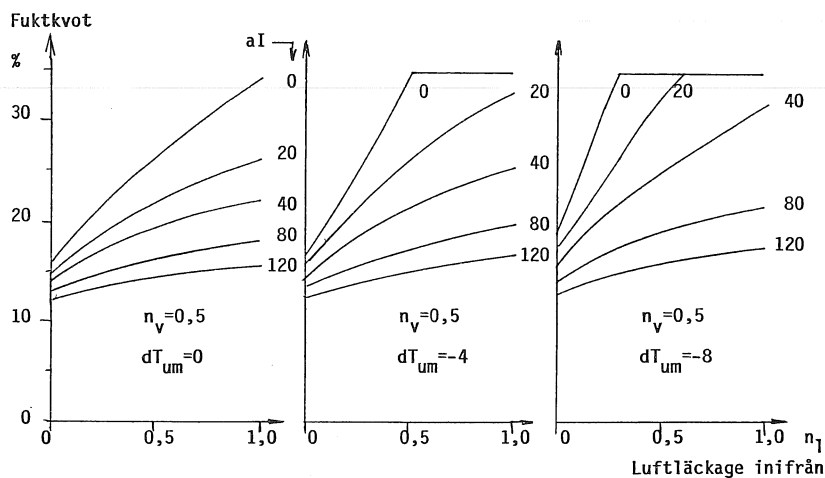
En fördubbling av värmemotståndet i vindsbjälklaget ökar fuktkvoten med ungefär 1%-enhet.

Solstrålningen har en kraftigt uttorkande effekt. Det bör dock observeras att här har räknats med en papp- eller plåtklädd panel. Med takpannor på taket blir effekten mindre, men detta har inte studerats speciellt.

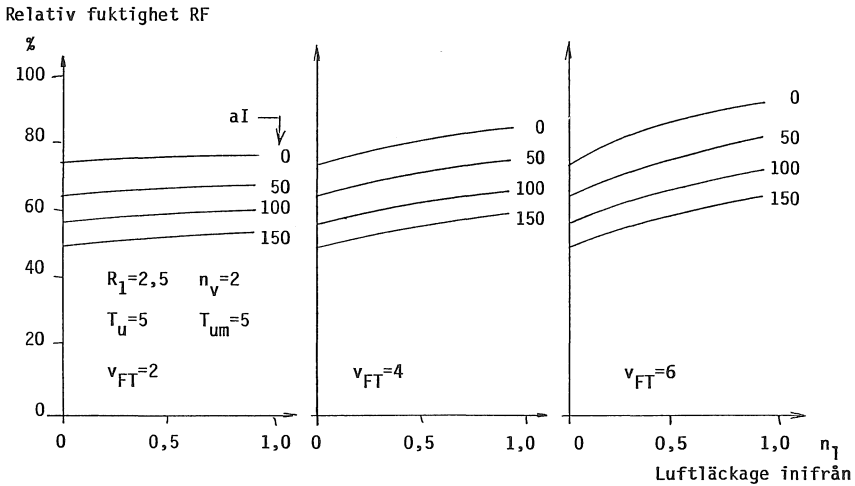
I en annan serie beräkningar har en mera omfattande parameterstudie gjorts. Av dessa redovisas bara två resultat här. Resultaten redovisas i kurvform som funktion av läckaget inifrån och vid olika absorberad strålning.

Figur 5.3 visar fuktkvoten vid olika nattutstrålning och vid liten uteluftsventilation.

Figur 5.4 visar relativ fuktighet i takpanelens ytskikt vid olika fukttillskott till inomhusluften.



Figur 5.3. Fuktkvot i takpanel vid olika motstrålade temperatur, solinstrålning och läckage inifrån.  $v_{FT} = 4 \text{ g/m}^3$ .



Figur 5.4. Relativ fuktighet i takpanelens inneryta vid olika fuktillskott i inomhusluften och olika solinstrålning och läckage.

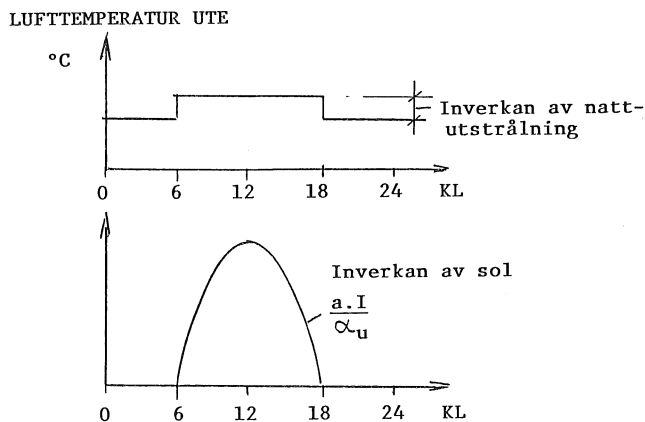
Kurvornas form kan bli ganska olika om man redovisar RF eller fuktkvot. Beroende på sorptionskurvans form vid höga fuktillstånd medför små ändringar i RF stora förändringar av fuktkvoten. Sorptionskurvan har antagits sluta vid fuktkvoten 35%, se bilaga A, vilket medför att vid dessa beräkningar fuktkvoten aldrig kan bli större än 35%, se figur 5.3.

### 5.3 Icke stationära fall

Det påstås ofta att plywood som takpanel oftare blir missfärgad av mögel eller blånad än massiv träpanel. En anledning skulle kunna vara att limskikten i plywood fungerar som en ångspärr och att endast det inre träskiktet skulle medverka i dygnssvängningarna. Ytkondensation på natten skulle då ge högre fuktkvot i det inre plywoodskiktet än i en massiv träpanel eftersom fuktmängden fördelas på en mindre volym.

För att testa denna hypotes har icke-stationära beräkningar gjorts för en tänkt takpanel bestående av 2 mm trä (OBS 2 mm). Denna är uppdelad på fyra skivor vardera med tjockleken 0.5 mm.

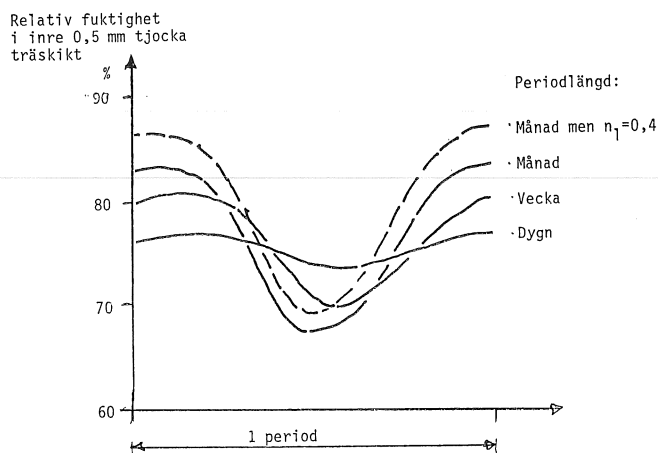
Solstrålning har antagits förekomma under halva dygnet och nattutstrålning under den andra hälften av dygnet. Av figur 5.5 framgår hur temperaturförhållandena varierat.



Figur 5.5. I beräkningarna förutsatta temperaturvariationer.

I övrigt har samma förutsättningar antagits som i avsnitt 5.2.  $n_v = 2.0$  oms/h,  $n_e = 0.2$  oms/h,  $v_{FT} = 4$  g/m<sup>3</sup>.

Resultatet framgår av figur 5.6. Eftersom svängningarna i RF i det innersta träskiktet (0.5 mm) är så små gjordes beräkningar med samma program för längre periodlängder. Detta innebär bl a den orealistiska förutsättningen att solen skiner oavbrutet under halva periodlängden (t ex 15 dygn under en månad).



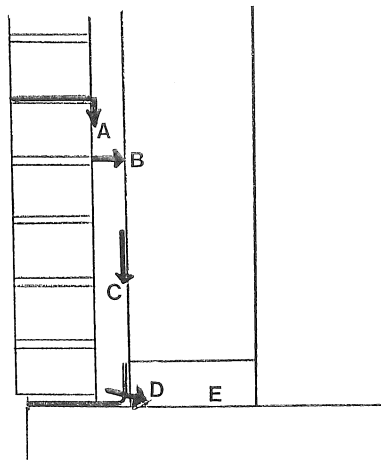
Figur 5.6. Variation hos relativa fuktigheten i takpanelens inre 0.5 mm tjocka skikt vid olika periodlängder.

Av resultaten framgår emellertid att dygnssvängningarna har liten effekt på fukt-tillståndet i en takpanel och de kan knappast förklara eventuella skillnader mellan plywood och massiv träpanel. Längre perioder erfordras, men sådana förekommer ju också - köldknäppar, snö på tak m m.

## 6 KVALITATIV BEDÖMNING AV RISK

Man kan också göra kvalitativa bedömningar av risker. Med kvalitativ menas här att man inte försöker göra några byggfysikaliska numeriska beräkningar av tänkbara fukt-tillstånd och deras frekvenser. Bedömningen kan göras på olika sätt. Man kan låta expertpaneler göra bedömningen som i Delfi-metoden eller grunda den på inventering av frekvenser för olika förlopp eller fel. Baserat på förståelse av det tekniska förloppet och på egen erfarenhet kan man också uppskatta sannolikheter för olika delförlopp och därav beräkna risken för skada.

Ett exempel kan klargöra tankesättet. Låt oss försöka uppskatta risken att slagregn tränger igenom en skalmur och rinner in till syllen och skadar denna. Man kan tänka sig att regnvattnet antingen rinner över till träkonstruktionen och sedan ner till syllen eller att vattnet rinner utefter skalmurens insida och sedan rinner över till syllen i spaltens botten enligt figur 6.1.



Figur 6.1. Tänkbara vägar för slagregn att nå syllen. Bokstäverna hänvisar till sannolikhetsbedömningen i texten.

En första förutsättning är att vatten överhuvudtaget rinner på skalmurens insida. Följande bedömningar görs. Sannolikheternas numeriska värde motiveras inte eftersom detta skulle kräva en egen rapport, utan låt oss betrakta dem som gissningar. Skalmurskonstruktionens fuktbetende behandlas av Sandin (1991).

A Sannolikhet att regnvatten någon gång rinner på skalmurens insida.

Fasadmaterial	Utsatt läge (Västkusten, Skåne)	Skyddat läge (Inlandet)
Hårdbränt fasadtegel	$A = 0.4$	$A = 0.1$
Normalt fasadtegel	$A = 0.2$	$A = 0.02$
Putsad skalmur	$A = 0.01$	$A = 0.001$

B Sannolikhet att vatten rinner över till träkonstruktionen ovanför syllen.

20 mm luftspalt + mineralull + trä	$B = 0.01$
20 mm luftspalt + trä	$B = 0.4$
50 mm luftspalt + mineralull + trä	$B = 0.1$
50 mm luftspalt + trä	$B = 0.4$

För 20 mm luftspalt (fingerspalt så att muraren får plats med sina fingrar) antas att murbruk kan komma i kontakt med konstruktionen innanför men inte kan falla ned i botten. För 50 mm luftspalt antas att murbruk kan falla ned i botten på spalten och leda in vatten ovanför fuktspärren (enligt D).

C Sannolikhet att vatten rinner från träkonstruktionen ner till syllen.

20 mm luftspalt	$C = 0.1$
50 mm luftspalt	$C = 0.3$

Observera att träkonstruktionen kan vara skadad även om vattnet inte rinner ner till syllen.

D Sannolikhet att vatten tar sig igenom den fuktspärr som skall dränera ut vattnet ovanpå sockeln.

Noggrant utförd fuktspärr	$D = 0.01$
Normal fuktspärr	$D = 0.1$
Dålig fuktspärr	$D = 0.5$
Ingen fuktspärr	$D = 1.0$

Om upplaget för skalmuren är försänkt under syllens nivå kan värdena multipliceras med 0.1.

E Sannolikhet att händelsen inträffar så ofta att skador uppstår.

Utsatt läge	$E = 0.1$
Skyddat läge	$E = 0.02$

Man kan sedan kombinera dessa sannolikheter och beräkna risken för att skada uppstår. Eftersom vattnet kan ta sig fram på två oberoende vägar blir risken för skada

$$A \cdot (B \cdot C + D) \cdot E$$

Om man beräknar ett normalfall med fingerspalt och mineralull i utsatt läge blir risken

$$0.2 \cdot (0.01 \cdot 0.1 + 0.1) \cdot 0.1 \sim 2.0 \cdot 10^{-3}$$

Risken för skada blir alltså 1:500. Man ser direkt att det i detta fall är fuktspärrens kvalitet som är avgörande.

Genom att beräkna riskerna för flera olika alternativ kan man även göra parameterstudier, varav man kan avgöra vilka konstruktions- eller kontrollåtgärder som är viktigast. Allt givetvis under förutsättning att man anser de uppskattade sannolikheterna vara rimliga.

Avslutningsvis bör påpekas att syllen utsätts för flera andra fuktangrepp. Mot kapillärsugning och vattenånga underifrån är sålunda en fuktspärr under syllen av vital betydelse, se Golrang (1987).



## 7 DISKUSSION

### 7.1 Riskbegreppet

Vi har i det föregående räknat ut risken för att ogynnsamma fuktillstånd skall uppkomma eller för att olägenheter av mögel skall uppstå.

Vad är det för sorts risk?

Hur inverkar tiden?

Risk kan definieras som sannolikheten för en oönskad konsekvens, i detta fall refererad till fuktillståndet i en byggnadsdel. Dessa konsekvenser beror på ett tämligen stort antal olika parametrar, som kan delas upp i två grupper.

- Parametrar som är givna när byggnadsdelen är färdigbyggd.
- Parametrar som varierar under bruksskedet.

Den första gruppen innefattar själva konstruktionens utförande, dvs de ingående materialens egenskaper, konstruktionens geometri och arbetets utförande. I princip är alla dessa parametrar oberoende av tiden och givna när konstruktionen är byggd. Man kan naturligtvis diskutera inverkan av åldring och andra förändringar av konstruktionen, t ex ommålning så att ett färgskikt blir mycket tjockare och därmed får andra fuktegenskaper. Sådant går att lägga in i den statistiska analysen genom att låta ifrågavarande egenskap få en bredare variationsvidd.

Den andra gruppen avser parametrar knutna till klimatet ute och inne samt bostadsvanor m m. Alla vet att vädret varierar och det är uppenbart att ju längre tidsrymd man behandlar desto större blir risken att extrema värden inträffar. Men om man baserar en statistisk analys på väderdata under 30 år har man i princip tagit hänsyn till de extremvärden som kan uppträda under denna tidrymd. Riskbedömningen i en utredning av den här typen blir därför beroende av det statistiska underlagets noggrannhet. I detta arbete har vi arbetat med 5-dygnsmedelvärden för temperaturen och dessa är framräknade ur 10 års statistik. 5 dygn har valts eftersom det ansetts vara en lagom lång tid för att fuktillstånd skall stabilisera sig och mögel skall kunna tillväxa, men det finns inget bevis för att 5 dygn är den riktiga periodlängden för de behandlade konstruktionerna.

Det finns förhållanden som kan hänföras till båda grupperna, t ex byggfukt. Sannolikheten att övriga parametrar skall kombinera ihop sig på ett ofördelaktigt sätt just det året man har byggfukt är dock mindre än att samma kombination uppträder någon gång under en längre tidsrymd. Byggfukt kan dock behöva behandlas separat, eventuellt med en annan uppsättning parametrar, särskilt i de fall det inte är uppenbart att byggfukten torkar ut tillräckligt snabbt.

*Vi menar att den beräknade risken i princip är en absolut risk som är oberoende av tiden om det statistiska underlaget är tillräckligt omfattande.* Sedan är det en annan sak att vi inte alls känner de ingående parametrarna tillräckligt väl och att riskbedömningen av denna anledning blir mycket osäker.

En statistisk bearbetning tar inte hänsyn till förväntade långsiktiga förändringar såsom ändrade boendevanor eller klimatförändringar, t ex beroende på växthuseffekten. För sådana förändringar måste man göra prognoser, som naturligtvis kan inkluderas i en analys på något sätt, men som dock är och förblir prognoser.

## 7.2 Mögel

Möglets tillväxtbetingelser diskuteras i avsnitt 2.4. Mögelsporer finns överallt. Det är uppenbart att ju längre man förvarar en träbit i en viss atmosfär över ett undre tröskelvärde, desto större blir risken att mögel utvecklas och tillväxer. Den mögelkurva som presenteras i figur 2.5 är baserad på laboratorieexperiment som pågått i minst 7 månader. Detta är en kort tid i förhållande till byggnadens brukstid. Hur skall detta tolkas? Man kan göra en bedömning genom följande beräkning.

Vi utgår från risken 1:100. Detta betyder att i ett beräkningsfall av 100 borde mögel uppträda. Varje beräkningsfall har omfattat 5 dygn. Laboratorieexperimenten har omfattat minst 200 dygn, vilket alltså innebär 40 st 5-dygnsp perioder. Vid risknivån 1:100 betyder detta att laboratorieresultaten svarar mot en tid för konstruktionen av 40-100 dygn eller ungefär 10 år. Risknivån 1:1000 motsvarar på samma sätt 100 år. Vi har då jämfört ett träprov utsatt för en kontinuerlig exposition för ett klimat under 200 dygn med trä i en konstruktion utsatt för en avbruten exposition under längre tid där dock summa exponeringstid i det "farliga" klimatet har varit densamma. Bjurman (1990) har visat att mögel överlever sådana avbrott men att aktiviteten dock avtar. Bedömningen borde därför vara "på säkra sidan".

*Vår tolkning av detta är att en mögelkurva baserad på så lång tid som i detta fall kan användas för att bedöma risken för mögelväxt under en byggnads normala brukstid.*

Det bör dock påpekas att mögelkurvan är osäker och framförallt att värdena vid låga temperaturer är mycket osäkra. Man skulle önska sig en kontinuerlig kurva över temperaturens inverkan.

En annan fråga är om mögeltillväxt alltid är skadlig eller innebär olägenheter. Vi tror oss veta att man t ex i uteluftventilerade kryprum alltid kan påvisa mögeltillväxt, men oftast innebär det inga olägenheter för de boende.

I detta arbete som handlar om träkonstruktioner har mögel ansetts vara det viktigaste fuktkriteriet beroende på att det uppträder vid lägre relativa fuktigheter än andra risker. Där mögel inte innebär några olägenheter kan naturligtvis andra fuktkriterier vara avgörande, t ex hållfasthet, deformationer eller röta. För andra material finns andra fuktkriterier, t ex korrosion, frostsador m m.

## 7.3 Vilken risk skall vi tillåta?

Som antytts i avsnitt 2.6 är det sannolikt ur strikt ekonomisk synpunkt lönsamt att ta större risker än vad man vill tillåta ur social och psykologisk synpunkt.

Vi tror dock att man bör basera en fuktdimensionering på en risk av cirka 1:1000. Vi har emellertid inte försökt att samla något underlag för ett förslag.

Om vi bygger 20000 lägenheter i småhus i Sverige per år skulle risknivån 1:1000 innebära 20 fuktskadade småhus per år vilket förefaller acceptabelt.

Det bör här påpekas att risken bör avse hela huset och inte varje byggnadsdel för sig. Om man har fyra kritiska byggnadsdelar som alla är dimensionerade för risken 1:1000 blir ju risken för hela huset ungefär 1:250. Olika risker kan också ha olika betydelse ekonomiskt, medicinskt och socialt och hur dessa risker skall sammanvägas har inte behandlats (jämför dock avsnitt 2.6.1, sida 35).

## 7.4 Grova fel

Vid dimensionering av bärande konstruktioner tillämpar man risknivåerna 1:1000000 till 1:10000 beroende på hur stor personskada som kan uppträda, se avsnitt 2.5.2. Man är dock medveten om att detta är formella säkerheter och att ras och skador ofta beror på grova fel, t ex att upplag saknas för en balk eller att en viktig svets inte blivit utförd. Sådana grova fel kan ej behandlas statistiskt och är ofta en följd av bristfällig kontroll.

Vid fuktdimensionering måste man förutsätta att motsvarande grova fel kan förekomma, t ex att en fuktspärr eller en värmeisolering saknas eller att man använt fel material. Det är emellertid sällan fråga om personskador och vid fuktdimensionering arbetar man också med större risker än vid statisk dimensionering. De grova felen får därför relativt sett mindre betydelse.

Givetvis bör man dock ha sådan kontroll på arbetsplatsen att de grova felen undviks.

## 7.5 Giltighet

En förutsättning för att beräkningar skall ha något värde är naturligtvis att teorierna är riktiga och relevanta och att indata i form av materialdata och randvillkor (klimatdata) är riktiga. När det gäller fuktberäkningar har man anledning att diskutera samtliga dessa fyra villkor.

Fuktdiffusionsteorin kan nog anses vara riktig upp till en relativ fuktighet av ca 90% och under isoterma förhållanden. Vid högre fuktillstånd sker en stor del av fuktflödet i vätskefas och man borde använda en annan potential. Vi har i detta arbete antagit att den hyroskopiska sorptionskurvan slutar vid fuktkvoten 35%, vilket innebär att vi för högre fuktkvoter inte får någon gradient i ånghalten och beräkningsmässigt ingen fukttransport, se figur 5.3.

I diffusionsförloppet inverkar temperaturnivån så att fuktflödet ökar med ökande temperatur, men hur temperaturgradienten inverkar är fortfarande okänt.

Fuktdiffusionsteorin är emellertid inte alltid relevant eller rättare sagt, den beskriver ibland bara en mindre del av fuktflödet. Fuktkonvektion, kapillärsugning och fritt vatten är ofta mera betydelsefulla för att förklara skador. Dessa fenomen är i regel mycket svårare att behandla numeriskt och randvillkoren är mycket svåråtkomliga. Hur ofta är det övertryck i en byggnad? Hur skall man beskriva slagregnspåverkan på en fasad? Hur ofta har man läckage i ett tak?

Materialdata och klimatdata är också som tidigare framhållits ofta osäkra, vilket i hög grad påverkar beräkningarnas giltighet.

Vår avsikt har emellertid inte varit att försöka lösa alla fuktproblem utan endast att använda befintlig kunskap för att anvisa en väg att uppskatta riskerna för fuktskador.

## Litteratur

- Andersson A-C, 1981, Fuktforskning, programarbete. LTH, Husbyggnadsteknik, rapport TVBH-7061.
- Andersson L, 1988, Möjlighetsteori och diffusa mängder. Byggeforskningsrådet, rapport R23:1988.
- Ahlgren L, 1972, Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. LTH, Byggnadsteknik, rapport 36, Lund.
- Bergström, S G, Byggefelsstudie inom SVR. Väg- och Vattenbyggaren 7, 1989, p 1-30.
- Bjurman J, 1988. Mögelpåväxt på trä - påverkan på mikroorganismernas delprocesser. Sveriges Lantbruksuniversitet, Virkeslära.
- Bjurman J, 1990. Mögelpåväxt på trä - inverkan av cykliska förlopp av relativ fuktighet och temperatur. Sveriges Lantbruksuniversitet, Virkeslära.
- Carling O, Follin T, Jenner J & Lundström H, 1984, Träskyddshandbok, Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Elmroth A & Samuelson I, 1987, Effekter av åtgärder i mögelskadade hus. Statens Provvningsanstalt, rapport 1987:31.
- Fahlström KE, 1980. Isbildning på yttertak i övre Norrland. Byggeforskningsrådet, rapport T9:1980.
- Försäkringsbolagens Byggreparationskommitté, 1987, Vattenskadorna i byggnader, Stockholm.
- Gilert E & Hallenberg N, 1984. Inget mögel utan fukt. Forskning och framsteg 2/84, p 31-37.
- Golrang, 1987. Fukt i ytterväggssyllar. LTH, Byggnadsteknik, TVBH-3014.
- Hallenberg N, & Gilert E, 1988. Betingelser för mögelpåväxt på trä. Klimatkammarstudier. Statens Provvningsanstalt, rapport 1988:57.
- Hansson R & Nilsson S, 1987. Lyckade och misslyckade tak. Byggeforskningsrådet R100:1987, Stockholm.
- Hansson T, 1989. Att bygga torrt. Byggförlaget, Stockholm.
- Harderup, E, 1991. Fuktsäkerhet i byggnader. Bygg & Teknik 1991 nr 2 (vol 83).

- Harderup L-E, 1983. Luftfuktighet i bostäder. LTH, Byggnadsteknik, rapport TVBH-3009.
- Hyppel A, 1989. Betingelser för mögelpåväxt på trä. Fält- och laboratoriestudier. KTH, Byggnadsteknik, arbetsrapport 1989:2.
- Höglund I, Girdo V & Troedsson C G, 1985. Solinstrålningstabeller för helklara, halvklara och mulna typdagar. KTH, Byggnadsteknik, meddelande 145.
- Johannesson G, 1981. Active Heat Capacity. LTH, Byggnadsteknik. Rapport TVBH-1003, Lund.
- Johnson B G, Kronvall J, Lindvall T, Wallin A & Weiss Lindenkrona H, 1990. Hus och hälsa. Byggeforskningsrådet T4:1990.
- Järmark T, 1968. Slagregn 2, Slagregnsfördelningen i Sverige. Statens Institut för Byggnadsforskning, informationsblad 40/68, Stockholm.
- Liu Tong, 1989. Moisture diffusivities and sorption isotherms of Swedish spruce and pine. KTH, Byggnadsmateriallära TRITA-BYMA 1989:8, Stockholm.
- Lorentzen B T. Föredrag vid LTH 1988.
- Mårtensson A, 1988. Interaction between moisture and stresses in wooden materials. Lund Institute of Technology, Division of structural mechanics, rapport TVSM-3011, Lund.
- Nevander L E, 1950. Västkustens fuktproblem ur meteorologisk synpunkt. Tegel 40 nr 3, sid 29-33.
- Nielsen A, 1987. Fuktteknisk dimensionering med statistik. Byggeforskningsrådet, rapport R89:1987, Stockholm.
- Nilsson Lars-Olof, 1988. Fukttransportegenskaper hos trä och träbaserade skivor. CTH, Byggnadsmaterial P-88:4, Göteborg.
- Nilsson E & Saarnak A, 1990. Temperaturbedingte Wasserdampfdurchlässigkeit von Anstrichen, farbe + lack 96(1990):3 p 189-191.
- Palmgren U, 1988. Mikrobiologiska materialanalyser - ett hjälpmedel vid skadeutredningar. Bygg & teknik 6/88, p 44-45.
- Samuelson I, 1985. Mögel i hus. Orsaker och åtgärder. Statens Provningsanstalt, Teknisk rapport 1985:16.

- Sandberg PI, 1971. Samtidig ångdiffusion och luftströmning genom ett poröst material. LTH, Byggnadsteknik, rapport 27.
- Sandberg PI & Harderup E, 1989. Fuktsäkerhet i byggnader. LTH, Byggnadsfysik, intern rapport TVBH-7120.
- Sandin K, 1987. Fukttillstånd i autoklaverade lättbetongväggar. Fältmätning av slagregnets och ytskiktets inverkan. LTH, Byggnadsmateriallära, rapport TVBM-3026.
- Sandin K, 1991. Skalmurskonstruktionens fukt beteende. Byggnadsforskningsrådet, rapport R 00:1991. Under publicering.
- Strandberg S, 1978. System i branta tak. LTH, Byggnadsteknik, rapport TVBH-3002.
- Svennerstedt B, 1989. Ytfukt på fasadmaterial. KTH, Byggnadsmateriallära TRITA-BYMA 1989:6.
- Svensson A, Blomqvist C, Mellin A, 1985. Värmeåtervinning ur ventilationsluft , Kv Malstenen Bomhus, Gävle. Statens Institut för Byggnadsforskning, meddelande M85:10.
- Tolstoy N & Svennerstedt B, 1984. Reparationsbehov i bostäder och lokaler. Statens Institut för Byggnadsforskning. Meddelande 84:10.
- Varnbo B, 1966, Slagregn, Svenska Riksbyggen, Handlingar 14, Stockholm.
- Örtengren E, 1988. Mögelpåväxt i friska hus. Statens Provningsanstalt, rapport 1988:63.

# BILAGA A

## Materialdata

Här anges endast de värden som använts för de redovisade beräkningarna.

$\lambda$	Väremkonduktivitet	W/mK
$R$	Värmemotstånd	m <sup>2</sup> K/W
$\delta$	Ångpermeabilitet	m <sup>2</sup> /s
$Z$	Ånggenomgångsmotstånd	s/m

$x_1 - x_5$  mätetal, se figur 3.1, sida 38.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Trä						
$\lambda$			0.14			
$\delta$						
Mineralull						
$\lambda$	0.036	0.038	0.040	0.042	0.044	
$\delta$	8	11	14	17	20	$\cdot 10^6$
Ångspärr						
$Z$	500	1000	2000	2500	3000	$\cdot 10^3$
Vindskydd						
$R$			0.20			
$Z$			20			$\cdot 10^3$
Innerpanel						
$R$			0.30			
$Z$			10			$\cdot 10^3$

## BILAGA C

### Solinstrålning

Värden ur Höglund, Girdo & Troedsson (1985) omräknade till effekt per area i medeltal under ett dygn. Vertikala väggar mot syd och nord (till vänster respektive höger om snedstrecket).

Molnighet beräknad ur Taesler (1972). Molnighet i Skåne avser Kristianstad.

Månad	Ort	Solinstrålning, syd/nord, W/m <sup>2</sup>			Molnighet, frekvens	
		mulet	halvklart	klart	mulet	klart
Jan	Skåne 56°	22/7	86/10	139/10	0.694	0.068
	Västerås 60°	13/54	56/5	92/5	0.597	0.123
	Kiruna 68°	0/0	0/0	0/0	0.435	0.145
Mars	Skåne 56°	55/31	167/40	242/33	0.477	0.139
	Västerås 60°	50/26	160/35	237/29	0.394	0.235
	Kiruna 68°	39/18	139/24	214/20	0.410	0.181
Maj	Skåne 56°	79/65	172/95	210/89	0.271	0.252
	Västerås 60°	79/64	179/96	224/93	0.281	0.252
	Kiruna 68°	79/63	190/105	247/112	0.455	0.126
Juli	Skåne 56°	82/70	169/108	201/105	0.297	0.190
	Västerås 60°	78/70	178/112	216/113	0.268	0.194
	Kiruna 68°	84/72	193/131	244/148	0.468	0.106
Sept	Skåne 56°	61/38	171/50	239/40	0.373	0.153
	Västerås 60°	58/34	169/45	241/87	0.330	0.183
	Kiruna 68°	50/46	159/35	235/29	0.537	0.080
Nov	Skåne 56°	27/10	103/14	163/12	0.710	0.043
	Västerås 60°	20/6	80/9	130/8	0.657	0.090
	Kiruna 68°	3/1	14/1	23/1	0.557	0.113



## BILAGA D

### Uppskattning av övertryck inomhus

Övertryck inomhus p g a vind kan skapas över en fasad om sugkraften på utsidan är större än undertrycket inne i huset. Tryckdifferensen över vägen blir

$$\Delta p = (\mu_{\text{utv}} - \mu_{\text{inv}}) \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \quad \text{D4}$$

där  $\mu_{\text{utv}}$  formfaktor utvändigt  
 $\mu_{\text{inv}}$  formfaktor invändigt  
 $\rho$  luftens densitet, kg/m<sup>3</sup>  
 $u$  vindhastighet, m/s

När det blåser mot en byggnad får man vanligen övertryck på lovartsidan och undertryck på en, två eller tre sidor. Här antas att vind från fyra av de åtta huvudväderstrecken kan ge undertryck på utsidan av en fasad. Vidare antages att  $\mu_{\text{utv}} = 0.5$  sug och  $\mu_{\text{inv}} = 0.3$  sug.

Tryckdifferensen blir då

$$\Delta p = (0.5 - 0.3) \frac{1.2 \cdot u^2}{2} = 0.12 \cdot u^2$$

För att finna frekvensfördelningen för övertrycket  $\Delta p$  har därför vindhastigheten studerats. I Klimatdataboken (Taesler 1972) finns tabeller a4 för olika meteorologiska stationer över relativa frekvenser, 0/00, av samtliga värden på vindriktning och vindhastighet.

I dessa har först de fyra förhärskande, intilliggande, vindriktningarna (av åtta) identifierats. Det visade sig att S och SW ingick för samtliga studerade orter. Ur tabellerna har därefter den sammanlagda frekvensen för de fyra väderstrecken beräknats och omräknats till fördelningskurva. De sålunda beräknade kurvorna för sex orter redovisas i figur D1.

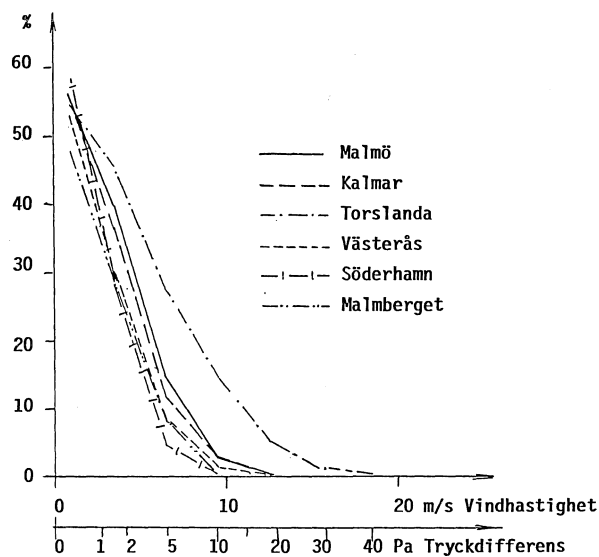
Man kan tänka sig att det blåser mer under de kalla och för fuktkonvektion farligare vintermånaderna. En kontroll för Torslanda visar att det blåser något mera under januari och november, figur D2, men med hänsyn till de stora osäkerheterna som denna kalkyl innefattar försummas denna effekt.

Om man känner fördelningskurvan för vindhastighet kan man direkt beräkna motsvarande tryckdifferens enligt formeln D1. Denna har därför ritats in i figur D1.

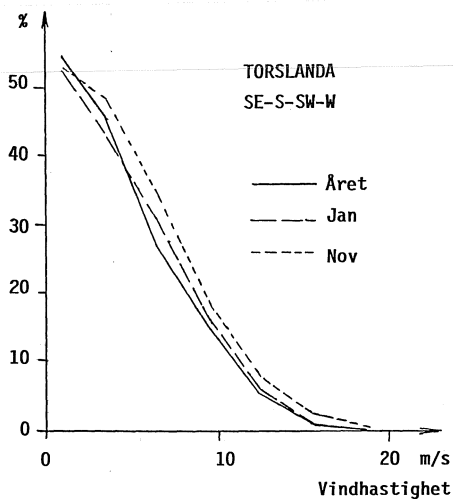
Om man sätter risken vid 10% ser man direkt att man för fem av orterna får  $\Delta p = 4.7$  Pa och för Torslanda får  $\Delta p = 15$  Pa.

Som riktvärde kan man därför ange att risken för att få större övertryck än 15 Pa sällan är större än 10%.

Det bör här påpekas att kalkylen är mycket osäker och att andra uppgifter i Klimatdataboken tillsynes ger andra informationer. Av tabell II:4.1 framgår t ex att det blåser mer i Halmstad än i Göteborg och allra mest i Visby. Torslanda och Göteborg är dock två olika stationer. En överslagsräkning visar också att Visby och Torslanda synes ge samma risk för övertryck.



Figur D1. Fördelningskurva för vindhastigheter från de fyra förhärskande vindriktningarna (av åtta). Året. Motsvarande tryckdifferens anges.



Figur D2. Fördelningskurva för vindhastigheter. Torshanda SE-S-SW-W.

R38 : 1991

ISBN 91-540-5350-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811038

Abonnemangsgrupp:  
Y. Byggnadsfunktion  
Z. Konstruktioner och material

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 56 kr exkl moms