

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

**TEMPERATUR, FUKTIGHET OG DIMENSJONSENDRING
FOR EPITAFIET I KAUPANGER STAVKIRKE**

**SOFUS L. LYSTAD
RAPPORT NR. 31/95 KLIMA**



DNMI - RAPPORT

ISSN
0805-9918

RAPPORT NR.

31/95 KLIMA

DATO
03.11.1994

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3

TELEFON: 22 96 30 00

TITTEL

Temperatur, fuktighet og dimensjonsendring
for epitafiet i Kaupanger stavkirke

UTARBEIDET AV

Sofus L. Lystad

OPPDRAGSGIVER

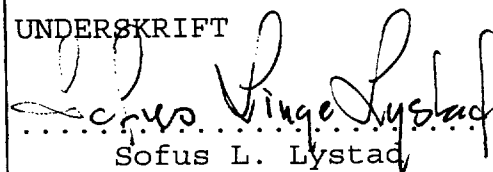
NIKU - Norsk institutt for kulturminne-forskning

SAMMENDRAG

For om mulig å forbedre oppvarmingsstrategier i middelalderkirker, er det foretatt en undersøkelse av et data-materiale fra Kaupanger stavkirke. Data består av registreringer av lufttemperatur og luftfuktighet samt dimensjonsendringer for utvalgte treobjekter.

Det er forsøkt å etablere en tidsrelasjon mellom oppvarming og den påfølgende bevegelse (dimensjonsendring) i treverket.

UNDERSKRIFT


.....
Sofus L. Lystad

SAKSBEHANDLER


.....
Bjørn Aune

FAGSJEF

Innhold

	side
1. Problemstilling.	2
2. Generell diskusjon av problemet.	3
3. Treverk, fuktighet og temperatur.	6
4. Datatilfang.	9
5. Parametergrunnlag.	11
6. Metode.	12
7. Programstruktur.	13
8. Filstruktur.	14
9. Resultater.	15
Vedlegg.	27

1. Problemstilling.

Fra møter hos Riksantikvaren og hos NIKU er fremlagt materiale som viser at tregjenstander fra middelalderkirker som er blitt oppvarmet i nyere tid, krever vesentlig mere vedlikehold enn tilsvarende objekter fra uoppvarmede kirker. Spesielt synes vinteroppvarming som medfører meget lav fuktighet i kirkerommet, å være problematisk.

I regi av Riksantikvaren/NIKU har det vært igangsatt et omfattende måleprosjekt i flere kirkebygg hvor det har vært målt dimensjonsendringer i ulike objekter sammen med registrering av temperatur og relativ fuktighet på flere steder i kirkerommet.

Dette datamaterialet har til nå i hovedsak bare vært presentert i grafisk form (kurver på papir), og det er nå fremmet et ønske fra NIKU om å få data behandlet digitalt med det mål å få etablert sammenhenger mellom bevegelsen i treverk og påvirkningen fra ulike temperatur- og fuktighetsforhold. Dette kan i sin tur gi opphav til ulike oppvarmingsstrategier som kan være med på bedre å ivareta de antikvariske objektene i middelalderkirkene.

2. Generell diskusjon av problemet.

For å skjematiskere problematikken kan man betrakte følgende forenklete figur:

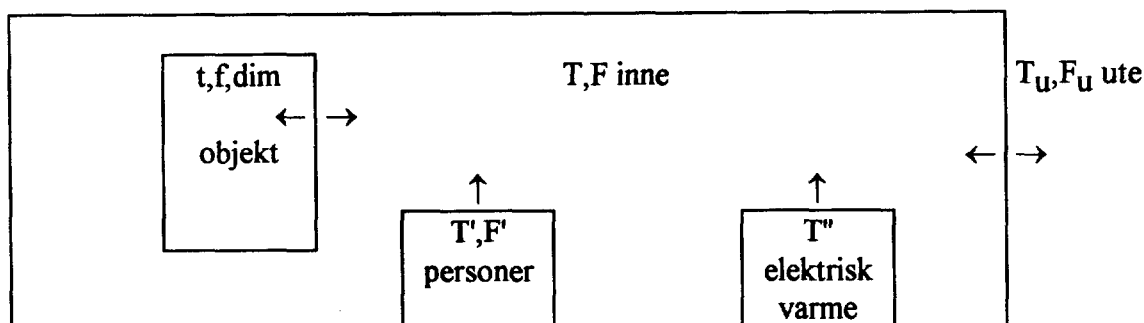


Fig 2.1 Skjematisk bilde av kirkerom med temperatur og fuktighetskilder.

Her er T_u, F_u temperatur og fuktighet ute, T, F de samme parametre inne og t, f de samme parametre ved eller på et bestemt objekt hvor også dimensjonsendring (dim) måles.

Vi har da tre ulike "compartments" eller medier; ute, inne og gjenstand som alle påvirker hverandre via "utveksling" av temperatur og fuktighet, piler angir transport eller påvirkning. I tillegg er det to bokser i "bunnen" som symboliserer elektrisk oppvarming (bare $T = T''$) og en som angir "kyrkje-lyden" som avgir både temperatur og fuktighet, dvs. T' og F' . Teknisk sett bør man da vite termisk kapasitet, termisk ledningsevne samt termisk diffusjonskoeffisient for de tre mediene, likeså termisk utvidelseskoeffisient. I tillegg de samme mediumspesifikke parametre for fuktighet.

Matematisk sett lar det seg da gjøre å sette opp relasjoner av typen Fick's eller Fourier's differentilligninger eller en "Ohm's lov"-relasjon som forbinder potensialdifferanse med transportkoeffisienter og transport av en gitt parameter. Potensialdifferanse vil her være enten forskjell i temperatur eller vandamptrykk (et uttrykk for fuktighetsinnhold i mediet). Transportkoeffisienten vil være ledningsevne eller diffusjonskoeffisient (denne vil da også gi uttrykk for "tidsforsinkelsen av en eventuell effekt). Transporten vil være den momentane verdien målt som temperatur eller fuktighetsinnhold i det betraktete medium.

Det som da er en "fasit" for den momentane tilstand i mediet eller gjenstanden, kan da være volum eller utvidelse som en følge av en "tilstandsligning" av formen: trykk lik en funksjon av temperatur og spesifikt volum for gasser og amorfe medier eller en stress/strain relasjon for faste inhomogene medier.

Treverk er et typisk inhomogent medium med en struktur langs trefibrene og en annen struktur på tvers. Et eventuelt dekkende krittlag vil være mere amorft, dvs likt i alle retninger mens et malingslag, mer to-dimensjonalt, vil strekkes eller komprimeres mer likt en membran. Kombinasjonen av disse vil derfor "vanskeliggjøre" problemet i vesentlig grad. Det er å anta at bevegelsen i treverket vil være størst og retningsbetinget (avhengig av oppbyggingen av objektet av forskjellige trestykker), og derfor være den utløsende årsak til at ødeleggelser finner sted i det overliggende dekket. En parameter som derved mangler, er permeabiliteten

eller ledningsevnen for dette dekklaget med hensyn til henholdsvis temperatur og fuktighet samt struktur på det underliggende treverket.

Tørket treverk vil til enhver tid prøve å justere seg (oppnå en likevektsfuktighet) etter temperatur og fuktighetsforholdene i den omgivende luften. Siden oppvarmingen er periodisk, vil treverket som regel være på "etterskudd", dvs overflaten responderer raskere enn de indre delene av treet. Dette medfører at det oppstår interne spenningsvariasjoner i treverket med mulig sprekkdannelse.

Her er den betydningsmessige forskjellen på begrepene "adsorpsjon" og "absorpsjon" av vesentlig betydning.

En angrepsmetode på problemet kunne da være å beregne likevektsfuktigheten for objektet via temperatur og fuktighet ved eller på dette og så beregne den samme variable med utgangspunkt i temperatur og fuktighet i omgivende luftmasse, for eksempel T og F "inne", og derpå analysere forskjellen i disse to likevektsfuktigheter med hensyn på dimensjonsendringer.

Siden det er "så mange løse parametre" involvert i problemet, som gjør en stringent matematisk formulering svært vanskelig, synes det derfor i første omgang enklest å benytte en eller annen form for statistikk. For eksempel å etablere empiriske "samvariasjonsrelasjoner" mellom de ulike faktorene, eller å etablere statistiske relasjoner Φ , av typene:

$$\Delta D_i = \Phi(\Delta \text{Temp}) \quad \text{eller} \quad \Delta D_i = \Phi(\Delta \text{Fukt})$$

eller en kombinasjon av disse, dvs.

$$\Delta D_i = \Phi(\Delta \text{Temp}, \Delta \text{Fukt})$$

hvor Δ betyr endring, D dimensjon, Temp lufttemperatur og Fukt luftfuktighet. Tidsforsinkelse kan inkorporeres i slike relasjoner ved å betrakte relasjoner av typen

$$\Delta D_i(\text{tid}=t) = \Phi(\Delta \text{Temp}(\text{tid}=t-t_1)) \quad \text{eller} \quad \Delta D_i(\text{tid}=t) = \Phi(\Delta \text{Fukt}(\text{tid}=t-t_2))$$

eller igjen en kombinasjon av disse, dvs.

$$\Delta D_i(\text{tid}=t) = \Phi(\Delta \text{Temp}(\text{tid}=t-t_1), \Delta \text{Fukt}(\text{tid}=t-t_2))$$

hvor t_1 og t_2 er vilkårlige tidsskritt.

"Godheten" av en slik relasjon vil være gitt via korrelasjonskoeffisienten. For at en slik bivariat analyse skal ha gyldighet, må de uavhengige variablene være ukorrelerte, dvs. være uavhengige. Vi er da tilbake til problemet med bruken av relativ fuktighet, siden RH er definert via relasjonen (se vedlegg)

$$RH = VP * 100. / SVP$$

hvor VP er aktuelt vanndamptrykk, SVP er metningsvanndamptrykk og SVP i seg selv er en ren funksjon av temperatur. RH vil da være en funksjon av temperaturen og derved korrelert med denne via en eksponential funksjon (igjen se vedlegg), og en dobbelt parameterrelasjon

som gitt over vil ikke tilfredstille kravet om uavhengige variable dersom RH brukes som den "fuktighetsbeskrivende" parameter. Derimot vil parametre som spesifikk eller absolutt fuktighet eller mixing ratio (se vedlegg) være bedre beskrivelsesvariable for fuktighet, dette vil også tilfredstille kravet om "uavhengighet".

Bruk av "crosscovariance" analyse, dvs at man betrakter to tidsrekker med data, $D(t)$ og $K(t)$, kan også være et brukbart verktøy. $D(t)$ er her en valgt dimensjonsendrings parameter og $K(t)$ en valgt klimapåkjenning variabel og t er tid med "heads" og "lags". Men siden man på det nåværende tidspunkt ikke har noen bestemt ide om størrelsen på "lags" kan dette være en meget arbeidskrevende prosess.

Siden det "praktiske" problemet er intern oppvarming, dvs. økning av T samt interne fuktighetskilder som "kirke-gjengerne", vil også sammenhenger av typene

$$t = \Phi(T) \quad \text{og} \quad f = \Phi(F)$$

kunne være av interesse. Disse vil beskrive "inneforholdenes" påvirkning på "gjenstanden", mens relasjonene over gir den mer lokale effekten.

For å koble "uteforhold" mangler en vesentlig faktor, nemlig vind. Den såkalt "utilsiktede ventilasjonen" for en bygning er sterkt avhengig av vindforholdene og bygningens eksposisjon i forhold til disse samt selvfølgelig bygningstekniske detaljer. Informasjonen om T_U og F_U har derfor mindre betydning uten ytterligere informasjon om vind. Vi kan imidlertid generelt si at er det kaldt ute, er fuktighetsinnholdet i uteluften lite (selvom RH_U er høy !). Er nå T og RH (inne) i mer eller mindre likevekt med disse forholdene (kaldt og tørt), vil en oppvarming (økning av T) skape mulighet for at inneluften kan ta opp mer fuktighet, dvs trekke fuktighet fra "gjenstand" som derved tørkes ut i ennå større grad.

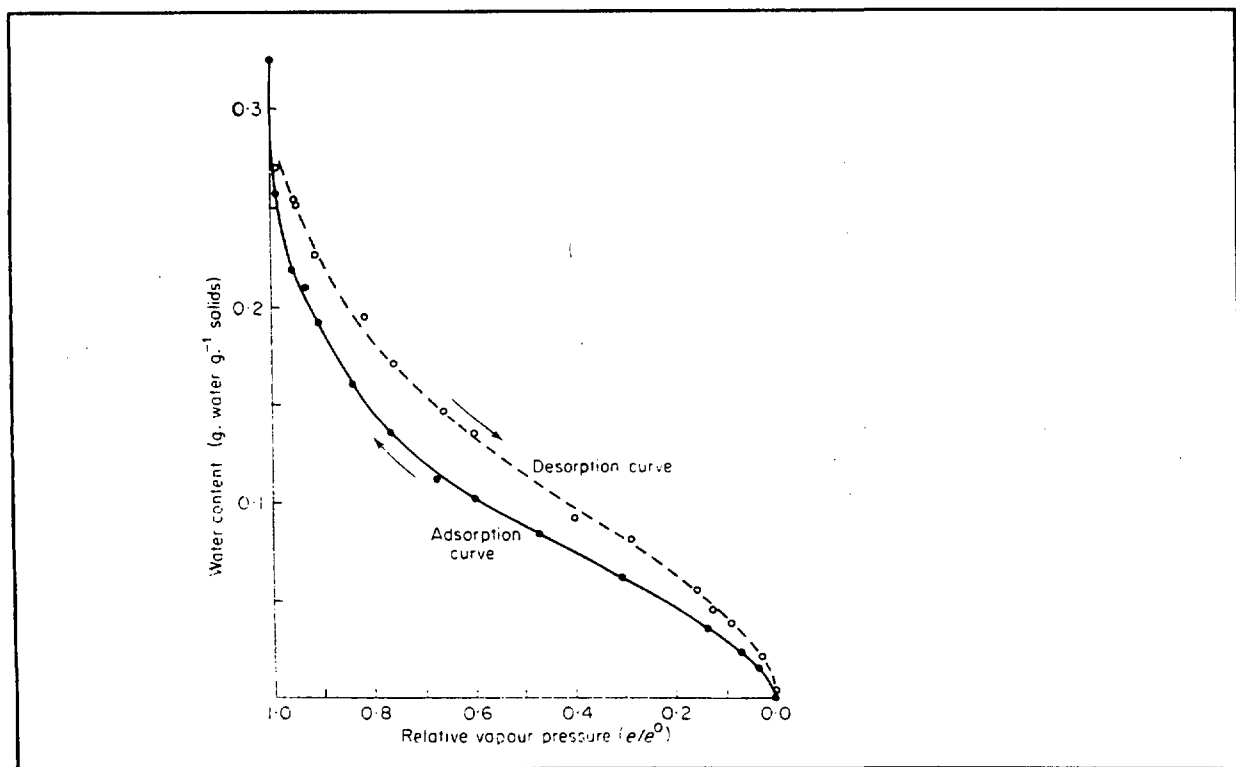
3. Treverk og fuktighet.

Treverk består av et komplekst fiberaktig materiale, bygget opp av forskjellige hulrom eller lange celler, ulike i struktur og funksjon, som i alt overveiende grad er orientert i parallell retning med akse i trestammen.

Celleveggene i treverk er hovedsaklig bygget opp av et lignocellulose kompleks som tiltrekker fuktighet som finnes i friskt treverk både som "fritt" vann og som "bundet" vann. Det frie vann er det som holdes innenfor celleveggene og er "fritt" bare i relativ grad. Fritt vann er holdt innenfor celleveggene av kapillærkrefter og av begrensningene som selve celleveggene utgjør. Bundet vann er innen selve celleveggen og er meget mer fastholdt, sannsynligvis via hydrogenbindinger.

Når treverk er tørket for bruk, er alt det frie vannet og en stor del av det vannet som er bundet, tatt vekk, og trestykket forsøker å oppnå en tilstand av likevekt med den omgivende luften. Tørket treverk forsøker derfor til enhver tid å oppnå en form av fuktighetslikevekt med sine omgivelser. Endringene i fuktighetsinnhold vil også virke inn på alle fysiske og mekaniske egenskaper for treverket.

Treverk er hygroskopisk idet det varierer sitt interne vandamptrykk og forsøker å adsorbere eller desorbere fuktighet i et forsøk på å oppnå en fuktighetslikevekt med omgivelsene. Opptak (adsorpsjon) og avgivelse (desorpsjon) av fuktighet fra treverk vil vise en tydelig hysteresis som vist i fig 1 tatt fra [1].



Figur 3.1 Isotherme sorpsjonskurver ved 25. °C for Klinki pine (*Araucaria hunsteinii*).

Likevektsfuktigheten for et stykke tre kan da defineres via en kurve som ligger mellom en slik adsorpsjonskurve og en desorpsjonskurve. Teoretisk sett vil denne likevektskurven da beskrive en oscillerende tilstand mellom adsorpsjon og desorpsjon.

Kurvene i figur 3.1 er betegnet som isoterme, det vil si at kurvene er konstruert under konstant temperatur. Varieres både temperatur og fuktighet vil vi få en kurveskare av sorpsjonskurver eller kurver som forbinder likevektsfuktigheten i treverket (som et midlere sett av isoterme sorpsjonskurver) med omgivende temperatur og fuktighet. Et slikt sett er vist i figur 3.2.

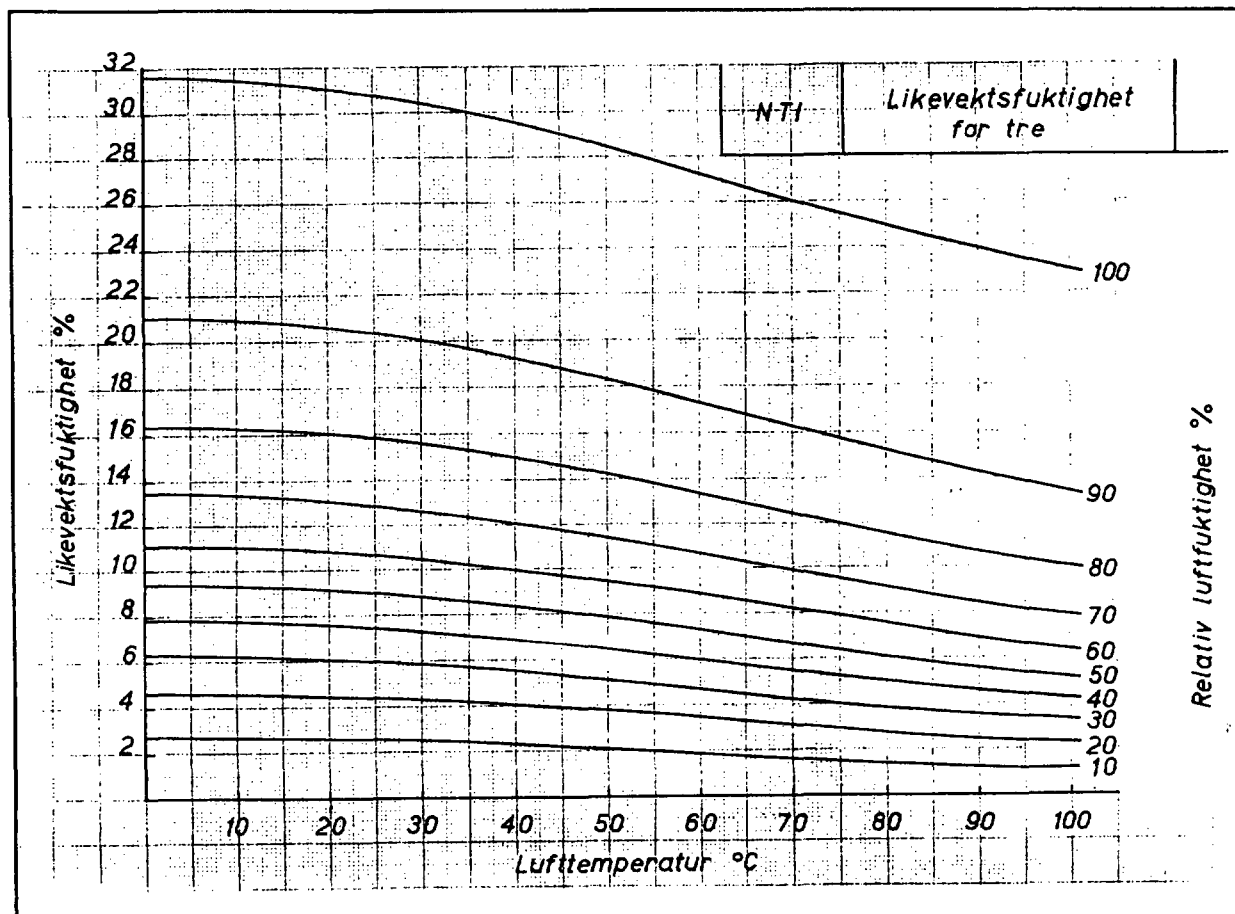


Fig. 3.2 Likevektsfuktighet i treverk (uspesifisert), avhengig av temperatur og fuktighet.

Den uttalte anisotropien i treverk vil også utgjøre et spesielt problem. Dette problemet forsterkes hvis et forarbeidet objekt er satt sammen av ulike trestykker med forskjellig orientering i forhold til den opprinnelige treaksen.

Anisotropien i treverket gir generelt opphav til følgende relative forhold når det gjelder svelling/krymping [2]: lengde/radial/tangential : 1/10/20. De samme forhold er for fuktighetsoppsugning 20/2/1.

Til sist er å bemerke at ulike type treverk, og ikke da bare løvtre kontra nåletre, men også det spesifikke treslag vil oppføre seg forskjellig med hensyn til påvirkning av ulike temperatur og fuktighet, til og med voksealder på treet vil ha en betydning i så måte.

Som eksempel på bevegelse i treverk vises en tabell for krymping i prosent ved opptørking av ulike treslag tatt fra [4]

tresort	krymping i prosent i retning langs		
	aksen	radius	korde
alm	0.124	2.94	6.22
ask, ung	0.821	4.05	6.56
gammel	0.187	3.84	7.02
bjørk	0.222	3.86	9.3
eik, ung	0.4	3.90	7.55
gammel	0.13	3.13	7.78
furu	0.12	3.04	5.72
gran	0.076	2.41	6.18
lerk	0.0765	2.17	8.32
lind	0.208	7.79	11.50
or	0.369	2.91	5.07

Tabell 3.1 Krymping langs ulike orienteringer i treverk ved opptørking for ulike treslag. [4]

Det synes også å være variasjoner innen de ulike artene, fra Norsk Treteknisk Institutt [3] er data for gran som følger: tangensialkrymping (tilsvarer korde i tabell 3.1) ca. 0.26% pr. prosent fuktendring, og radialkrympingen er omlag halvparten, ca 12% pr. % fuktendring, mens lengde-krympingen angis som ca. 0.01% pr. prosent fuktendring.

Siden krymping kan være et uttrykk for intern bevegelsesmulighet i treverk, vil det være av betydning å vite ikke bare treslag, men også hvordan treverket er skåret og anvendt (satt sammen) i et treobjekt.

4. Datatilfang.

Fra firma P.Jørgensen er mottatt to disketter inneholdene filer av målinger utført Kaupanger stavkirke. Filene er av typen KAUymmdd.KRV i et spesielt pakket bit format. y er ensifret årstall (4, dvs 1994 for tilsendte filer), mm er månedsnummer og dd er dagnummer i måneden. Hver fil inneholder målinger tatt hvert 5'te minutt, start kl 00.00 i døgnet og frem til kl 00.05 i neste døgn dvs 289 records eller 5-minutts data. Siste record i fil KAUymmdd.KRV er altså identisk med første record i filen KAUymm(dd+1). For hver måned, er i nedstående tabell gitt hvilke dager som det eksisterer data for.

Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
01	01		01	01	01	01	01	01			01
02	02		02	02	02	02	02				02
03	03		03	03	03	03	03				03
04	04		04	04	04	04	04				04
05	05		05	05	05	05	05				05
06	06		06	06	06		06				06
07	07		07	07	07		07				07
08	08			08	08		08				08
09	09			09	09		09				09
	10			10	10		10				10
	11			11	11	11	11			11	11
12	12		12	12	12	12	12			12	12
13	13		13	13	13	13	13			13	13
14	14		14	14	14	14	14			14	14
15	15		15	15	15	15	15			15	15
16	16		16	16	16	16	16			16	16
17	17		17	17	17	17	17			17	17
18	18		18	18	18	18	18			18	18
19	19		19	19	19	19	19			19	19
20	20		20	20	20	20	20			20	20
21	21		21	21	21	21	21			21	21
22	22		22	22	22	22	22			22	22
23	23		23	23	23	23	23			23	23
24	24		24	24	24	24	24			24	24
25			25	25	25	25	25			25	25
26			26	26	26	26	26			26	26
27			27	27	27	27	27			27	27
28			28	28	28	28	28			28	28
29			29	29	29	29	29			29	29
30			30	30	30	30	30			30	30
31				31		31	31				31

Tabell 4.1 Dager i 1994 som har måledata fra Kaupanger stavkirke.

Det er bare 4 komplette måneder; mai, juni, august og desember. Den lengste sammenhengende perioden er på 85 døgn fra og med 12. april til og med 5. juli.

Månedene mars og oktober er helt uten data, og i september finnes data bare for ett døgn.

Den normale "fyringssesongen" (klimatisk definert som den perioden da døgnmiddeltemperaturen går under 11. °C om høsten og til og med den siste datoen da døgnmiddeltemperaturen er under 9. °C om våren) vil for Kaupanger være perioden fra ca 10. september og frem til ca 10. mai, (basert på normal temperatur for den meteorologiske stasjonen i Leikanger som kan betraktes som relativt representativ også for Kaupanger).

Utfra dette vil vi finne tre forholdsvis "lange" sammenhengende perioder innen fyringssesongen; 51 døgn innen november og desember, 44 døgn i januar og februar samt 29 døgn i april og mai.

Ved inspeksjon av data (se punkt 7) viser det seg at endel records inneholder defekte data, dette gjelder hovedsaklig temperatur- og fuktighetsdata (parameter nummer 24 til 33, se punkt 5). Dette gjelder for november/desember perioden dagene 22/11 (også defekte dimensjonsmålinger) samt 6/12, 7/12, 23/12, 29/12 og 30/12 (her er tilsynelatende dimensjonsdata i orden).

5. Parameter grunnlag.

Fra firma P.Jørgensen har en fått opplyst parameter rekkefølgen på datafilene som gitt i tabell nedenfor

nr	pnr	parameter	benev.
1	21	Veggdekor h=3.2m dimensjonsendr.	°/°°
2	22	Epitafium ekstra dimensjonsendr.	°/°°
3	23	Epitafium h=3.5m dimensjonsendr.	°/°°
4	24	Ute Nord temperatur	C°
5	25	Ute Nord luftfuktighet	%
6	26	Veggdekor h=3.2m temperatur	C°
7	27	Veggdekor h=3.2m luftfuktighet	%
8	28	Epitafium h=3.5m temperatur	C°
9	29	Epitafium h=3.5m luftfuktighet	%
10	30	Tak skip NV temperatur	C°
11	31	Tak skip NV luftfuktighet	%
12	32	Gulv skip NV temperatur	C°
13	33	Gulv skip NV luftfuktighet	%
14	34	Sørvegg 0,0m temperatur	C°
15	35	Sørvegg 0.8m temperatur	C°
16	36	Sørvegg 2.0m temperatur	C°
17	37	Stav 2.0m temperatur	C°
18	38	Midtgang 1.1m temperatur	C°
19	39	Epitafium h=3.0m dimensjonsendr.	°/°°
20	40	220 V nett Strømforbruk	kW

Tabell 5.1 Målte enkeltparametre i filene med parameternummer.

Epitafiet har en god dekning av målinger (3 dimensjonsendringssensorer samt temperatur og relativ fuktighet), og det vil i første omgang være rimelig å etablere en studie på denne spesielle gjenstanden. Studien baseres derfor på parametre med nummer 22,23,39 som er dimensjonsendringssensorer for epitafiet, og 28,29 som er henholdsvis temperatur og relativ fuktighet nær ved epitafiet. I utskriftsfilene er av praktiske årsaker de overnevnte ikkesammenhengende nummer på parametre byttet ut med en sammenhengende rekke i henhold til nedstående tabell:

originalt nr.	nr i filer	beskrivelse	måle enhet
22	1	Epitafium ekstra dimensjonsendring.	°/°°
23	2	Epitafium h=3.5m dimensjonsendring.	°/°°
39	3	Epitafium h=3.0m dimensjonsendring.	°/°°
28	4	Epitafium h=3.5m temperatur	C°
29	5	Epitafium h=3.5m luftfuktighet	%
-	6	Epitafium h=3.5m spesifikk fuktighet (beregnet)	g/kg

Tabell 5.2 Renummerering av behandlede parametre.

6. Metode.

Etter møter med NIKU (T.Olstad, A.Haugen) ble det bestemt at fysikalske modeller skulle utelates i første omgang, og at en mer ren statistisk metode skulle benyttes.

Metoden skulle i korthet gå ut på, om mulig, å finne en karakteristisk tidslengde mellom endringen i en klimatisk parameter (stimulus) og en påfølgende endring i en dimensjonsbeskrivende parameter (respons).

Layout for metode blir da følgende:

Siden man primært er bare interessert i "endringer" av parametrene vil det være praktisk å redusere datamengden til bare data som beskriver endring med en gitt definert tidsfastsettelse for tidspunktet når endringen skjer. En slik samling data kalles en "knekkpunktsfil".

I en slik "knekkpunkts-fil" letes så opp første endring i en av dimensjonsparametrene, derpå letes opp endringer i de klimatiske parametrene bakover i tid (begrenset til ett døgn dvs. 1440 minutter eller til tidspunkt for forrige endring i samme dimensjonsparameter), og tidslengde registreres. Det differensieres mellom positiv (D+, K+) og negativ (D-, K-) endring både i dimensjon (D) og klimatisk (K) parameter. Midler for tidslengder bestemmes sammen med minimum og maksimumverdier og spredning (standardavik). Det presenteres også en frekvensfordeling av tidslengder.

Med behandling av 3 dimensjonsparametre (fil parameter 22,23,39 epitafium) og 3 klimaparametre, temperatur, relativ fuktighet og spesifikk fuktighet (fil parameter 28,29 som også bestemmer spesifikk fuktighet), vil en få følgende kombinasjoner D_i+/K_i+ , D_i+/K_i- , D_i-/K_i+ og D_i-/K_i- eller 36 forskjellige kombinasjoner for hvilke det kan bestemmes tidslengder, der D_i er dimensjonsendring nr i og K_i klimaparameter nr i, $i=1,3$.

Resultater er derfor splittet opp på enkeltfiler av type PAR_{ij}, der $i=1,3$ og $j=4,6$ (se tabell 5.2), samt PLPL, PLMI, MIPL og MIMI hvor PL står for pluss og MI for minus, dvs lister av tidslengder for henholdsvis positiv dimensjonsendring versus positiv endring i påvirkning, positiv dimensjonsendring versus negativ endring i påvirkning etc.

Tidslengde gies i hele minutter og regnes fra og med tidspunkt for registrert dimensjonsendring til og med tidspunkt for oppdaget påvirkningsendring.

7. Programstruktur.

For å gjennomføre den valgte metode er det nødvendig å tilrettelegge data på en spesiell måte. Siden det bare er "endringer" av de ulike parametrene som er av interesse vil det være praktisk å tilordne data en tidsidentifikasjon og så redusere data til en "knekkpunkts fil" dvs. bare beholde en komprimert versjon av datarecords hvor det er registrert en endring i parameter (fortsatt gjelder dette overnevnte utplukk av parametre).

En sjekk av data har også vist seg nødvendig da det eksisterer åpenbare feil i disse. Et program som pr døgn (pr fil) gir midler og spredning, har derfor vært nyttig. For å "reparere" data har man benyttet interpolasjon basert på kubisk splinefunksjoner. Dette ansees som en sikker metode for intervaller på 5 minutter for "noenlunde" konservative parametre (gjelder da for eksempel ikke for strømforbruket).

Nødvendigheten av "komplette" tidsserier av data er innlysende som en følge av den valgte behandlingsprosedyren, "hull" i dataseriene vil uvegerlig avkorte mulighetene for et "søk bakover" i tidsrekkene for å finne en mest mulig representativ midlere tidslengde.

Som en følge av mulige defekte data har det også vært en fordel å beholde data lengst mulig på døgnbasis, d.v.s filer av typen KAUymmdd.* for lettere å kunne rette opp deler av data-materialet i mindre porsjoner.

program	innfil(er)	utfil(er)	formål
KRV2PRN	KAUymmdd.KRV	KAUymmdd.PRN	dekod binærdata til tekst program fra P. Jørgensen
LESRIKB	KAUymmdd.PRN	KAUymmdd.TXT KAUymmdd.MID	komprimer tekst finn midler, sd, max, min
SPLRIK	KAUymmdd.TXT	KAUymmdd.TXT	reparer feil via spliner
NYMID	KAUymmdd.TXT	KAUymmdd.MID	reberegn mid etter reparasjon
SAMID	KAUymmdd.MID	MID.TXT	samle dagmidler til en fil
KNEKRIK	KAUymmdd.TXT	KAUymmdd.KNE	sparer bare knekkpunkter
SAKNEK	KAUymmdd.KNE	KNEKKFIL.KNE	samler knekkpkt. til 1 fil
LESKNEKA	KNEKKFIL.KNE	PLPL.TXT PLMI.TXT MIPL.TXT MIMI.TXT PARij.TXT ALMI.TXT	sorterer knekkp. finner tidslengder +/+, +/- etc frekvens av tidslengder totalmidler etc. av tidslengder

Tabell 7.1 Oversikt over programmer brukt i analysen.

I filnavnene er y ensifret år, mm månedsnummer og dd dagnummer i måneden.

8. Filstruktur

Siden denne studien er et første forsøk på å finne en sammenheng mellom de målte verdiene av dimensjonsendring i treverk i Kaupanger stavkirke og klimatiske påvirkninger, er det rimelig å spare resultater også i form av "halvfabrikata" for om mulig å kunne gå tilbake til disse og så gjøre analysen under endrede premisser.

I tabell 8.1 er angitt de ulike filene og hva de generelt inneholder.

fil	forklaring
KAUymmdd.KRV	binærdata fra P. Jørgensen.
KAUymmdd.PRN	tekstdata fra P. Jørgensen.
KAUymmdd.TXT	komprimerte tekstdata ala P. Jørgensen's PRN fil.
KAUymmdd.MID	midler, sd, max, min pr fil (pr døgn) pr parameter.
MID.TXT	samlede døgnmidler på en fil.
KAUymmdd.KNE	knekkpunkter pr fil (pr døgn) pr valgte parametre.
KNEKKFIL.KNE	samlede knekkpunkter på en fil.
PLPL	frekvens av positiv respons på positiv stimulus.
PLMI	frekvens av positiv respons på negativ stimulus.
MIPL	frekvens av negativ respons på positiv stimulus.
MIMI	frekvens av negativ respons på negativ stimulus.
PARij.TXT	tidslengde, endring i dim nr i og klima nr j. i=1,3, j=4,6
ALMI.TXT	totale midler etc. av tidslengder.

Tabell 8.1 Filer produsert i analysen med angitt innhold.

Til eksempel kan nevnes at om det er ønskelig med en differensiering ikke bare på "fortegn" på de variable men også en sortering med hensyn på også størrelse så kan denne gjøres med utgangspunkt i filen KNEKKFIL.KNE som inneholder alle "knekkpunkter"

Programmet LESKNEKA kan da enkelt endres til å se bort fra endringer større eller mindre enn definerte grenser.

9. Resultater.

Nedenfor er gitt resulater fra en undersøkelse av perioden fra og med 11. november til og med 31. desember 1994. Perioden er komplett med 5 minutters data for de parametre som inngår i analysen. Det totale antall endringer i de 6 parametrene nevnt i tabell 9.1 i denne perioden er 2800, antallet av endringer i dimensjonsmålingene alene vil fremgå av tabellene 9.2 til 9.5.

I de påfølgende tabellene og figurene er benyttet betegnelsene som er gitt i tabell 9.1, dvs at D1 tilsvarer en endring i epitafiets "ekstra dimensjonsmåling", SF er da endring i den beregnede spesifikke fuktigheten ved epitafiet i 3.5 m. osv.

D1	Epitafium ekstra dimensjonsendring	0/00
D2	Epitafium h=3.5m dimensjonsendring	0/00
D3	Epitafium h=3.0m dimensjonsendring	0/00
DT	Epitafium h=3.5m temperaturendring	C°
RH	Epitafium h=3.5m relativ luftfuktighetsendring	%
SF	Epitafium h=3.5m spesifikk fuktighetsendring	g/kg

Tabell 9.1 Parameter betegnelser i tabeller og figurer.

I tillegg har betegnelsene i tabellen et suffiks som enten er + (pluss) eller - (minus) samtidig som over-nevnte betegnelser kombineres.

Dette forklares slik: D1+/RH- vil da bety at en økning i epitafiets ekstra dimensjonsmåling (positiv endring) er skjedd etter en negativ endring i den relative luftfuktigheten målt i 3.5m ved epitafiet, D3-/DT- betyr at en reduksjon i epitafiets dimensjonsmåling i 3m (negativ endring) er skjedd etter en reduksjon av lufttemperaturen målt i 3.5m ved epitafiet, osv. som tidligere nevnt vil dette gi 36 forskjellige kombinasjoner.

I tabellene 9.2 til 9.5 er gitt midlere tidslengde i minutter, spredning via standardavvik samt maksimum og minimum verdi. Maksimum verdi er begrenset til 1440 minutter (et døgn) eller til første endring som inntreffer før dette tidspunkt dersom det ikke har forekommet noen endring etter dette tidspunkt. (Dvs. endring i dimensjon skjer ved tid null, og man søker bakover i tid for å finne den første endringen i hver av de klimatiske variable dersom denne ikke er "eldre enn" forrige endring i angjeldende dimensjonsparameter).

Fra tabellene ser en at midlere tidslengder ligger mellom ca. 100 minutter og 500 minutter, men også at spredningen er meget stor (dette kommer bedre tilsyn i de følgende frekvensdiagrammene). Maksimumsverdien ligger fra ca 400 minutter til ca 2500 minutter mens det for alle kombinasjonene har vært minst en momentan respons, dvs. at minimum tidslengde mellom en registrert endring av dimensjon og klimatisk parameter har vært 0 minutter.

Det er også interessant å merke seg at antallet av kombinasjoner D_i og RH er vesentlig mindre enn for temperatur og spesifikk fuktighet.

	D1+/DT+	D1+/RH+	D1+/SF+	D2+/DT+	D2+/RH+	D2+/SF+	D3+/DT+	D3+/RH+	D3+/SF+
mid	110.1	187.0	228.4	185.8	203.9	277.0	106.2	225.5	164.6
sd.	210.6	277.0	359.2	252.4	331.3	325.6	173.8	259.9	217.4
max	1370.0	1360.0	1455.0	1380.0	1370.0	1465.0	1520.0	1255.0	1255.0
min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ant	212	41	193	551	56	428	321	53	247

Tabell 9.2 Middel, standardavvik, maksimum og minimum for tidslengder i minutter mellom en økning av dimensjon og en økning i klimatisk variabel

	D1+/DT-	D1+/RH-	D1+/SF-	D2+/DT-	D2+/RH-	D2+/SF-	D3+/DT-	D3+/RH-	D3+/SF-
mid	220.5	222.0	287.4	225.4	245.9	300.8	253.1	132.5	215.5
sd.	239.0	276.3	353.0	287.9	362.0	324.6	277.2	123.1	248.1
max	1285.0	1390.0	1430.0	1390.0	1400.0	1440.0	1450.0	415.0	1270.0
min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ant	239	28	205	348	60	397	310	34	235

Tabell 9.3 Middel, standardavvik, maksimum og minimum for tidslengder i minutter mellom en økning av dimensjon og en reduksjon i klimatisk variabel

	D1-/DT+	D1-/RH+	D1-/SF+	D2-/DT+	D2-/RH+	D2-/SF+	D3-/DT+	D3-/RH+	D3-/SF+
mid	333.7	161.7	482.4	291.6	154.5	374.3	248.0	357.4	395.2
sd.	450.6	207.7	434.6	297.9	234.6	313.2	344.5	435.6	406.8
max	1660.0	640.0	1445.0	1600.0	1100.0	1335.0	1530.0	1405.0	1445.0
min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ant	146	21	187	391	56	370	212	35	233

Tabell 9.4 Middel, standardavvik, maksimum og minimum for tidslengder i minutter mellom en reduksjon av dimensjon og en økning i klimatisk variabel

	D1-/DT-	D1-/RH-	D1-/SF-	D2-/DT-	D2-/RH-	D2-/SF-	D3-/DT-	D3-/RH-	D3-/SF-
mid	173.4	163.6	452.3	161.9	182.1	310.1	154.3	262.2	360.3
sd.	287.9	216.7	446.5	252.6	272.6	305.3	243.5	389.0	411.9
max	1440.0	600.0	1665.0	2495.0	1145.0	1330.0	1520.0	1230.0	1560.0
min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ant	132	29	208	327	77	431	232	45	255

Tabell 9.5 Middel, standardavvik, maksimum og minimum for tidslengder i minutter mellom en reduksjon av dimensjon og en reduksjon i klimatisk variabel

Midlere tidslengder for dimensjonsendring hvor de klimatiske påvirkningene er slått sammen i positive (økning av klimatisk variabel) og negative (reduksjon av klimatisk variabel) grupper er vist i tabell 9.6. En ser her at de korteste responstidene inntreffer for $D_1+/K+$, med unntak for D_2 hvor $D_2+/K+$ er av samme størrelse som $D_2-/K-$. Uten å vite hvordan registreringen av

dimensjonsendringen er foretatt i forhold til "orienteringen av treverket" er det vanskelig å dra noen konklusjoner ut av disse tallene.

"klima"	dimensjonsendring					
	D ₁ +	D ₁ -	D ₂ +	D ₂ -	D ₃ +	D ₃ -
K+	175	326	222	274	165	333
K-	244	263	253	218	201	259

Tabell 9.6 Midlere tidslengde i minutter for positiv og negativ påvirkning.

Figurene 9.1 til 9.9 viser frekvenser av tidslengder for gitte kombinasjoner av dimensjonsendring D_i $i=1,2,3$ (se tabell 9.1) og henholdsvis temperatur, relativ og spesifikk fuktighet.

Frekvensene for tidslengdene er gitt i "tidsavsnitt" på 10 minutter opp til og med 1440 minutter. Det er imidlertid rimelig å anta at de "lengste" registrerte tidslengdene mer eller mindre utgjør en ren "støy" i fordelingene

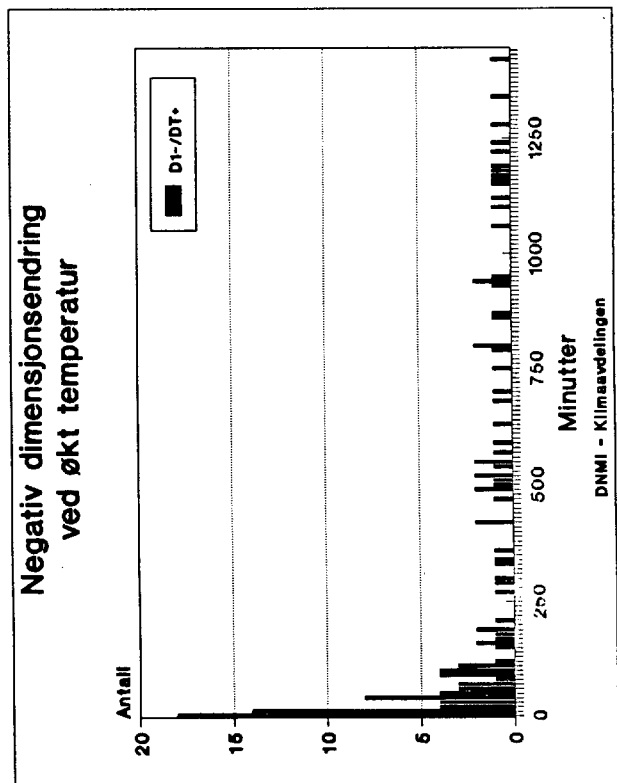
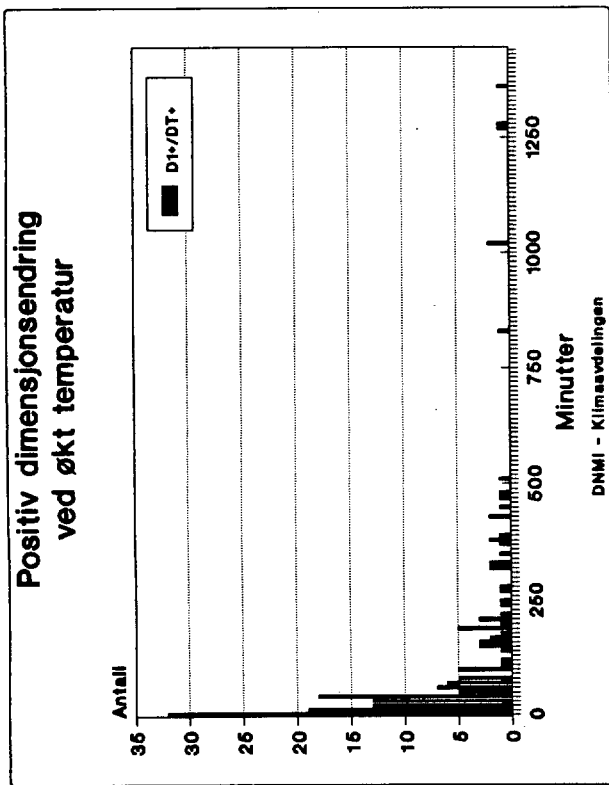
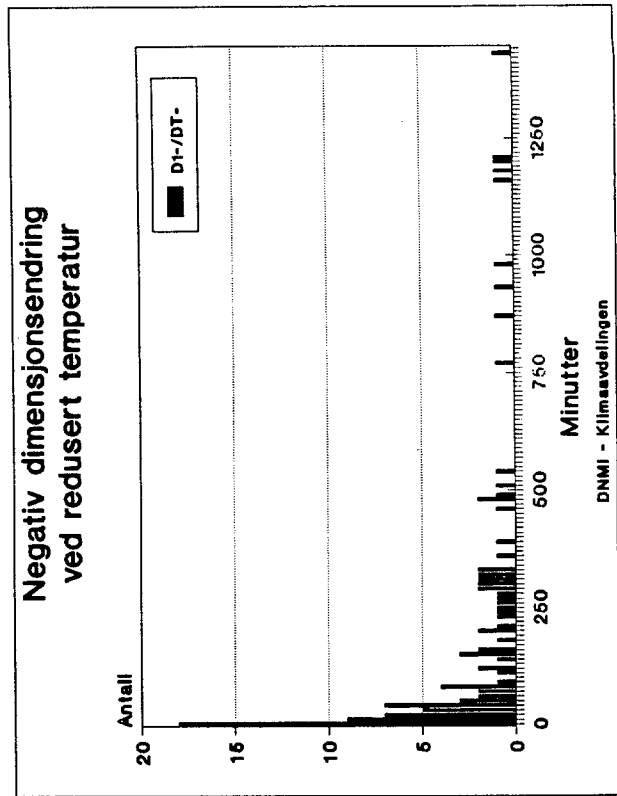
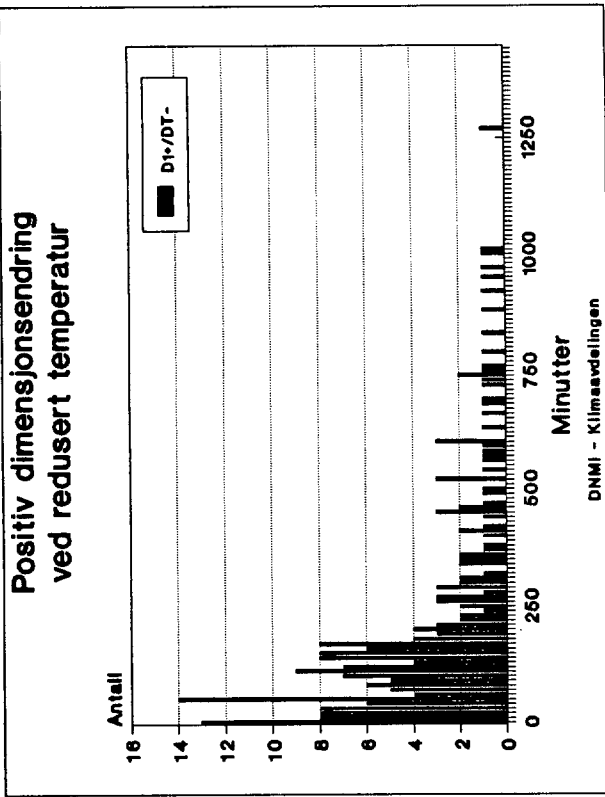
Kombinasjonene D_i og temperatur viser alle fordelinger med positiv skjevhet, dvs. overvekt av "raske responser", av typen en Poisson fordeling. (figur 9.1, 9.4 og 9.7). Dette går forøvrig igjen i de fleste kombinasjonene. Et unntak for temperatur er "positiv dimensjonsendring ved reduksjon av temperatur". Her er for alle D_i -fordelingen noe flatere og man kan ane noen sekundære maksima rundt 250 til 500 minutter for D_3 og rundt 600 til 750 minutter for D_2 . Man kan imidlertid fastslå at den generelle responsen for endringer i temperatur er "rask", med unntak for nevnte kombinasjon.

Relativ fuktighet i kombinasjon med D_i (figurer 9.2, 9.5 og 9.8) gir vesentlig "flatere" fordelinger med tydelig oppsplittede grupperinger. Dette har selvfølgelig også noe å gjøre med det totale antall av forekomster av denne kombinasjonen (se tabeller 9.1 til 9.5 og kommentar til spesifikk fuktighet nedenfor). Fortsatt er "raske" responser i overvekt, men grupperinger rundt 250 og 500 minutter finnes, enda opp til 1250 minutter (D_3 -/RH-).

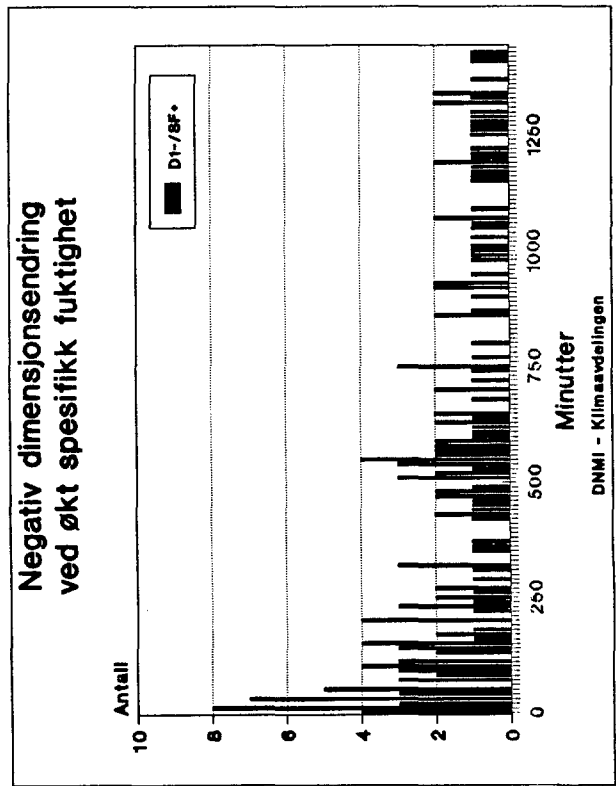
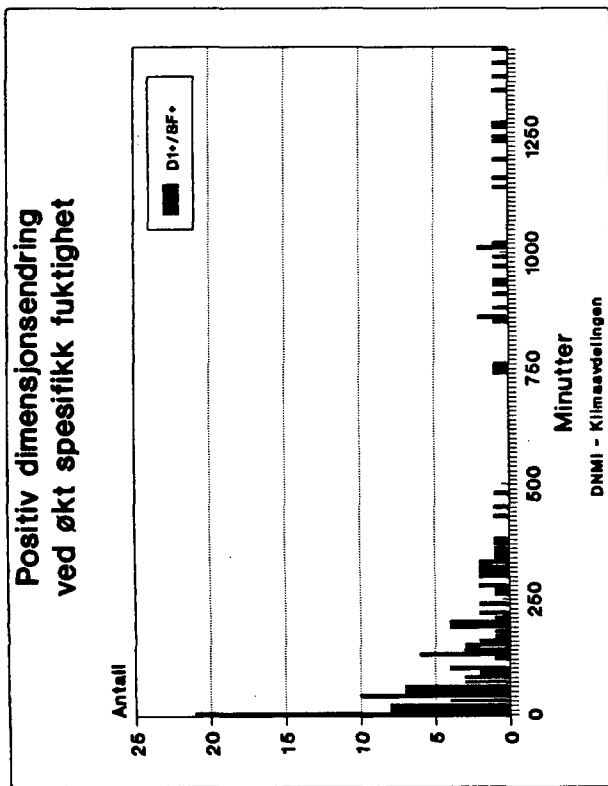
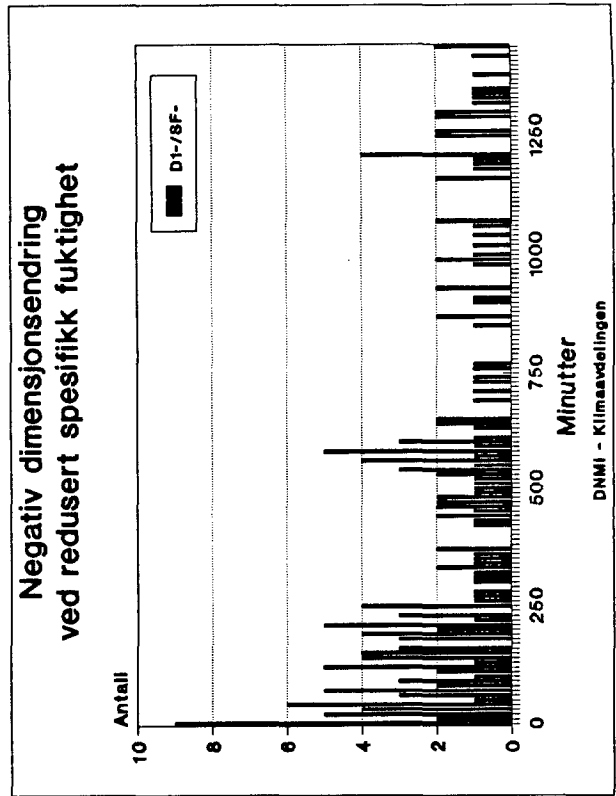
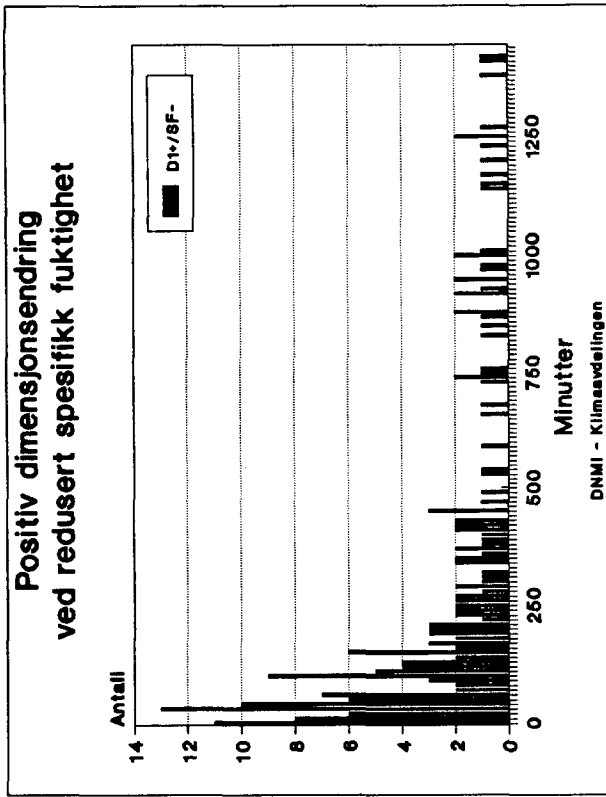
Kombinasjonen av dimensjonsendring og spesifikk fuktighet (figurer 9.3, 9.6 og 9.9) viser også et utalt maksimum for korte responstider, men har meget mer "sammenhengende" fordelinger (flere forekomster) enn de tilsvarende for relativ fuktighet og eventuelle grupperinger vil ikke tre så tydelig frem. Imidlertid viser også disse, i tråd med fordelingen for relativ fuktighet, grupperinger også rundt 500 minutter (D_1 -/SF±, D_2 -/SF± og D_3 -/SF±).

En regruppering hvor intervall lengden økes kan muligens bedre isolere sekundære maksima i fordelingene, men det er ikke gjort i denne omgang.

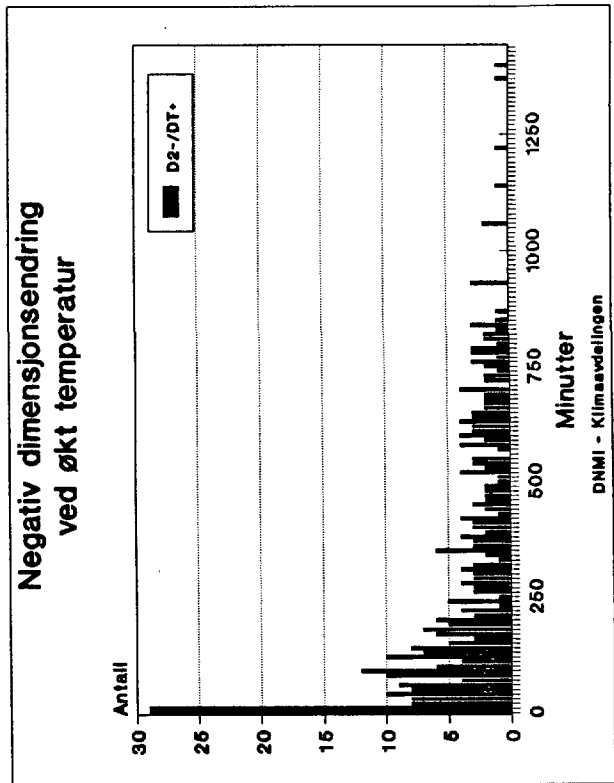
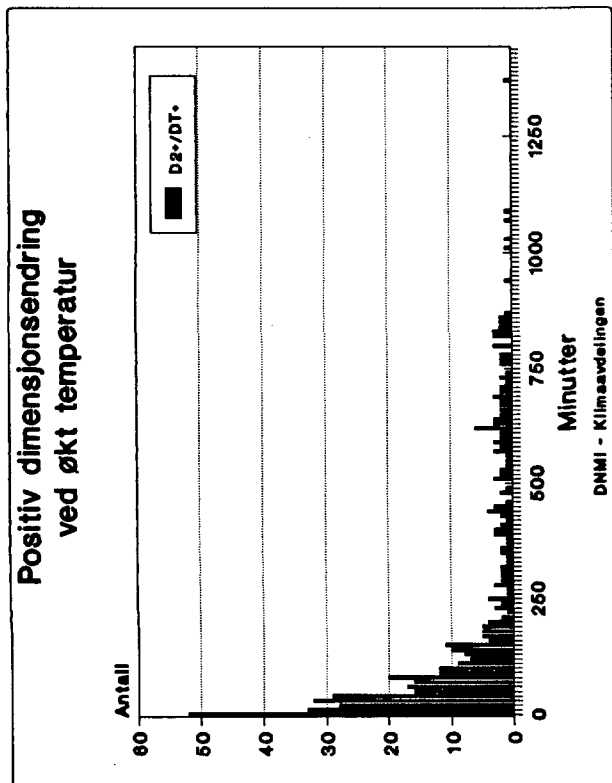
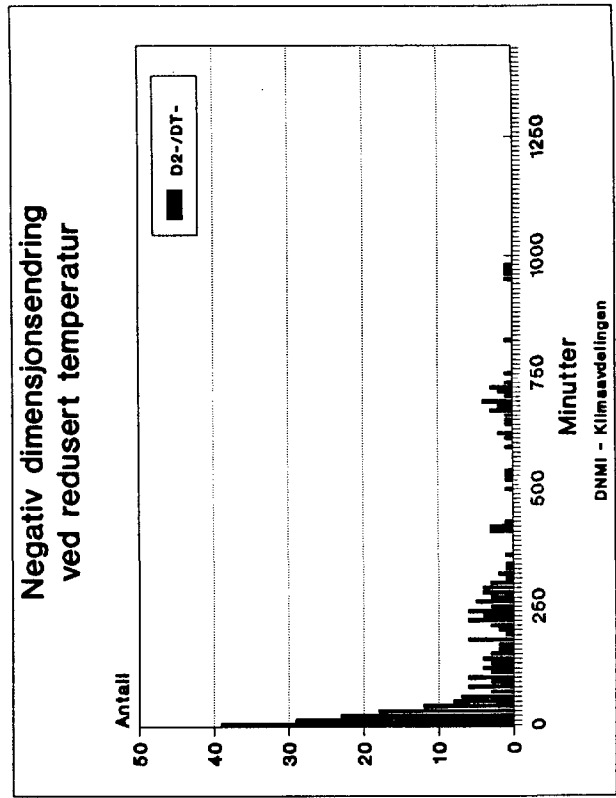
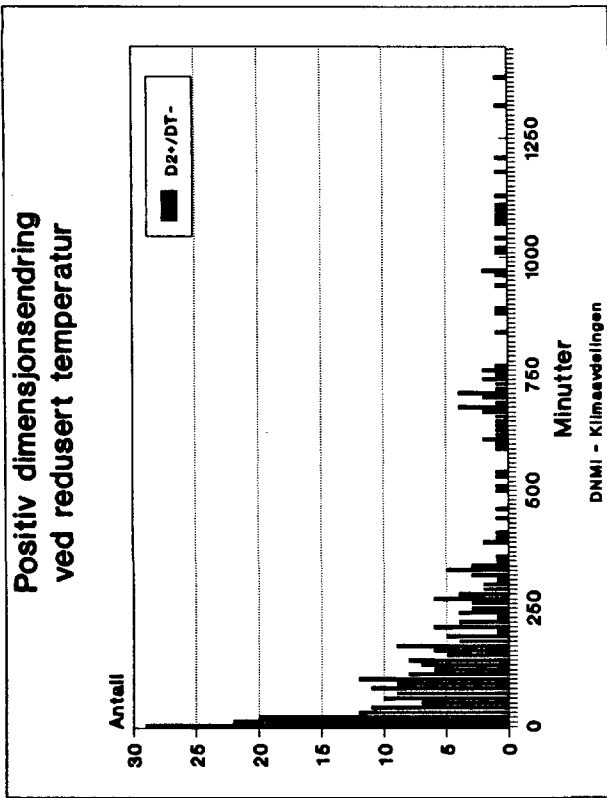
En ytterligere oppdeling av materialet hvor ikke bare "fortegn" på de variable, men også størrelsen av de variable inngår, kan trolig også bedre isolere eventuelle sekundær maksima i fordelingene.



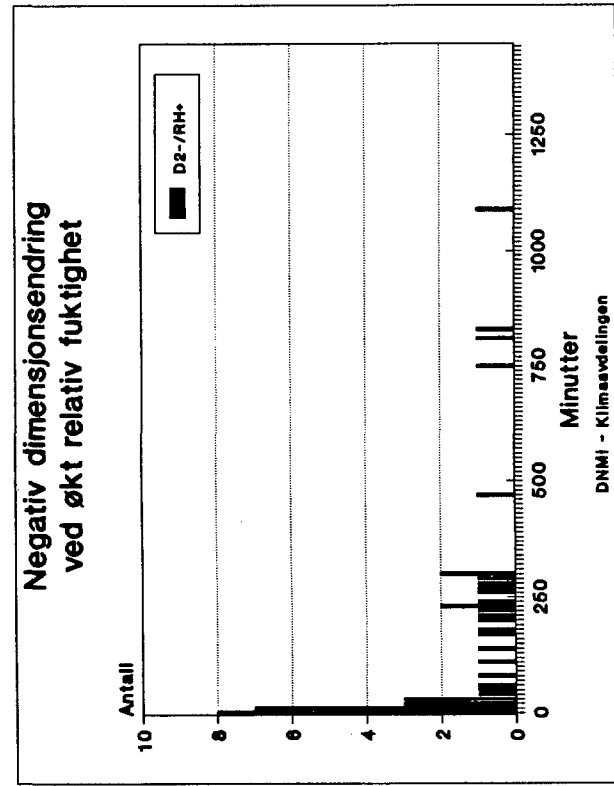
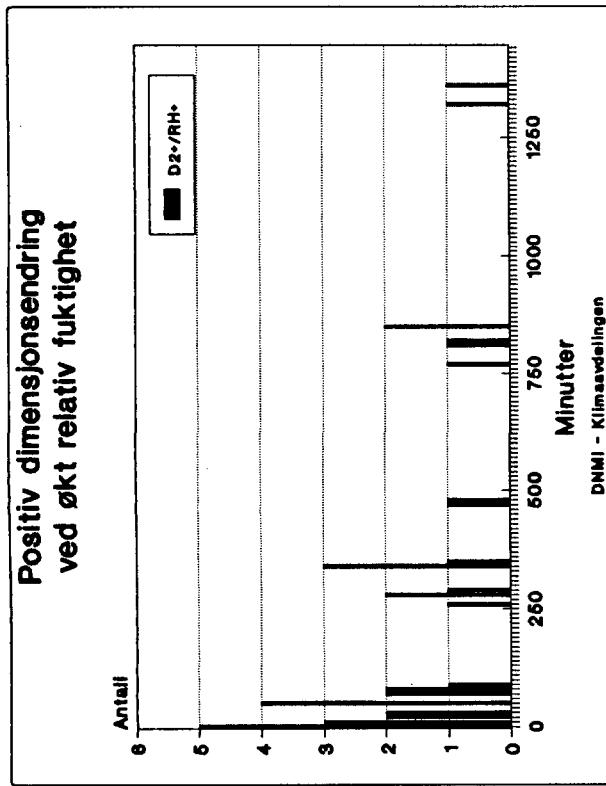
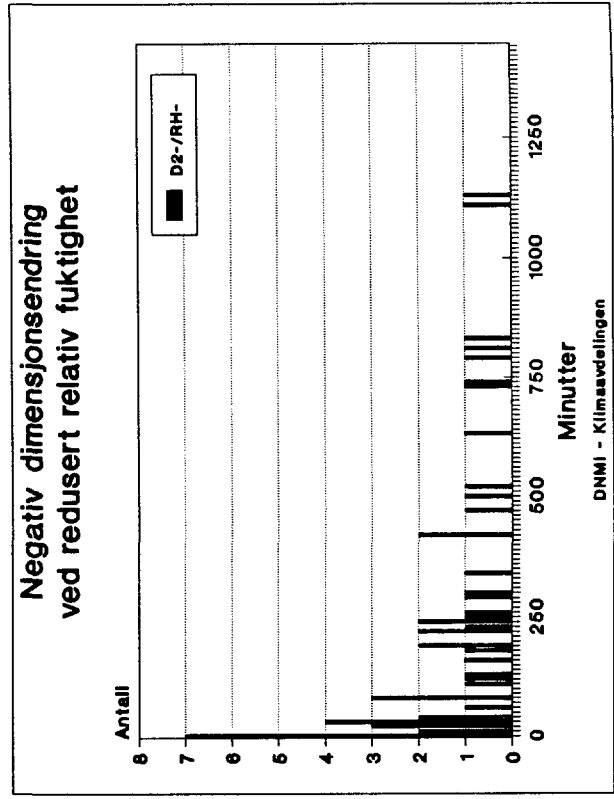
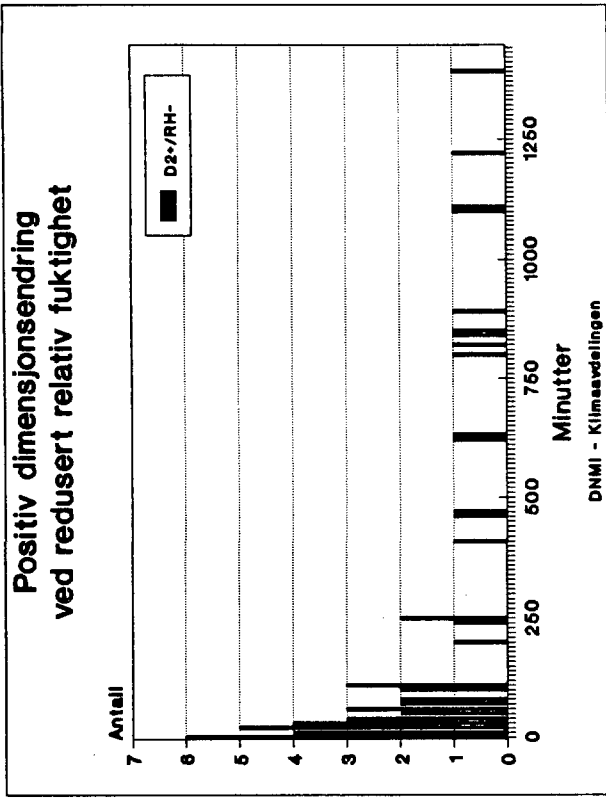
Figur 9.1 Dimensjonsendring D_1 versus temperatur.



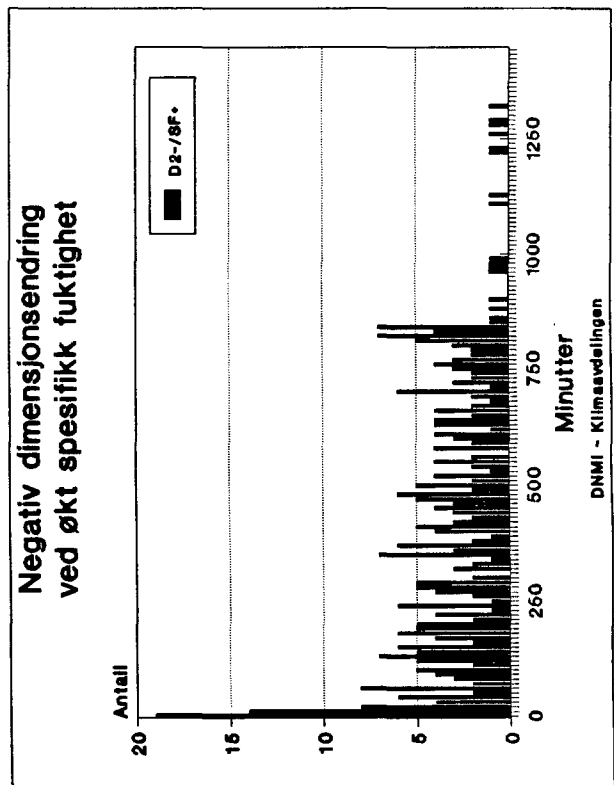
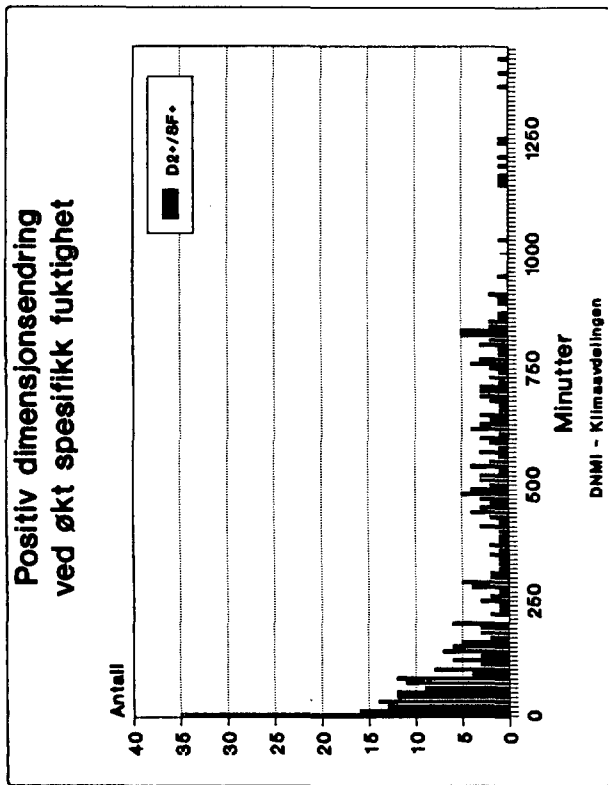
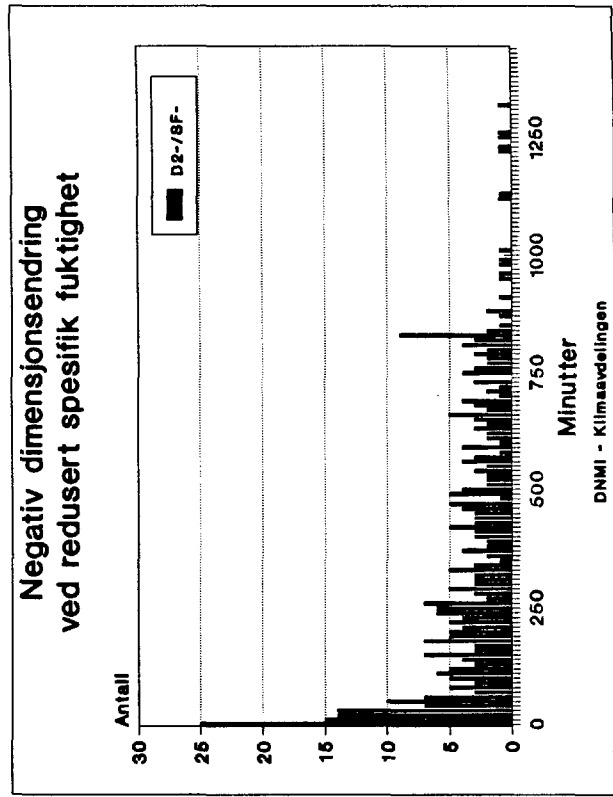
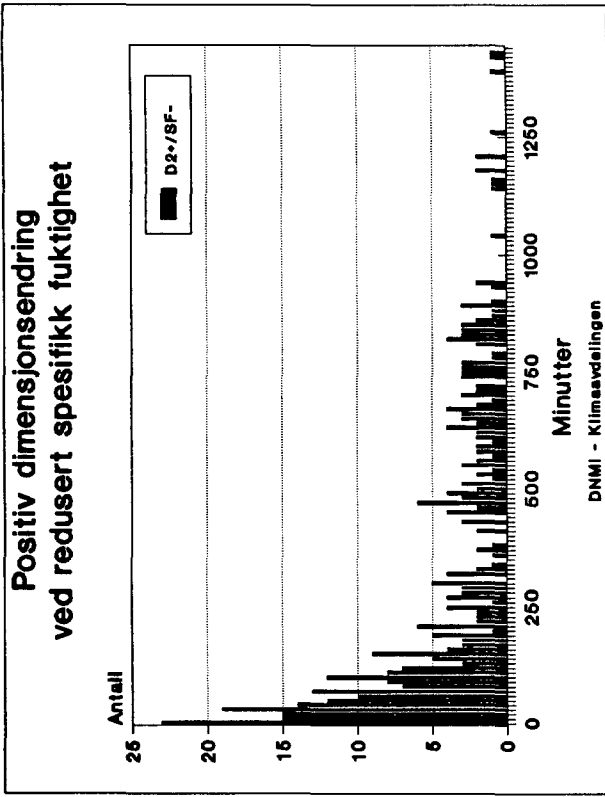
Figur 9.3 Dimensjonsendring D_1 versus spesifikk fuktighet.



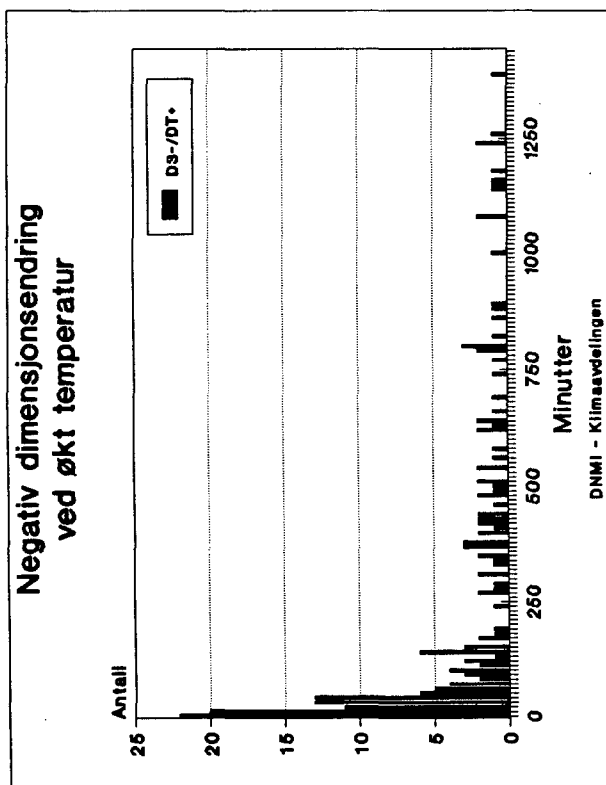
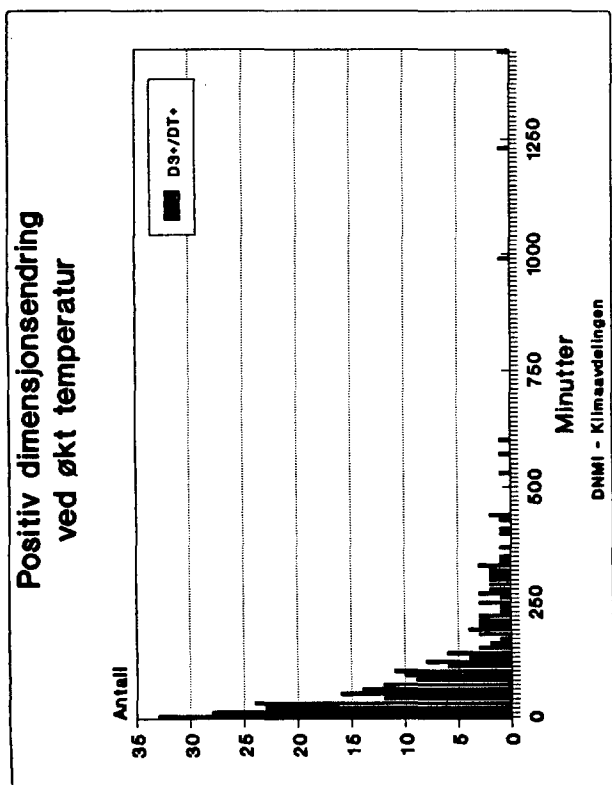
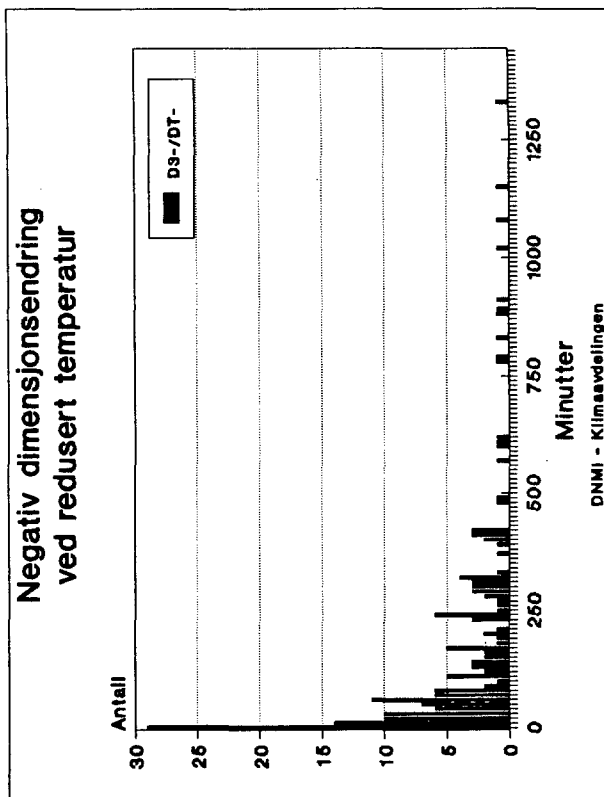
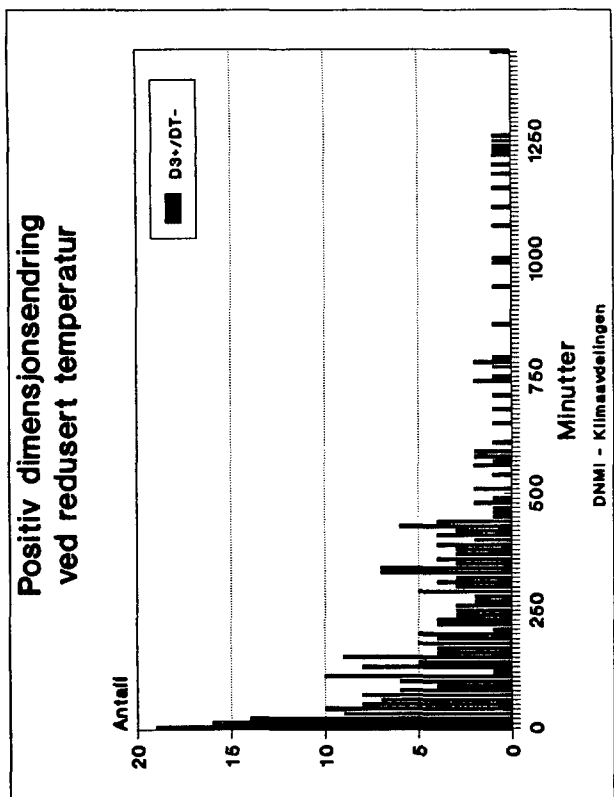
Figur 9.4 Dimensjonsendring D_2 versus temperatur.



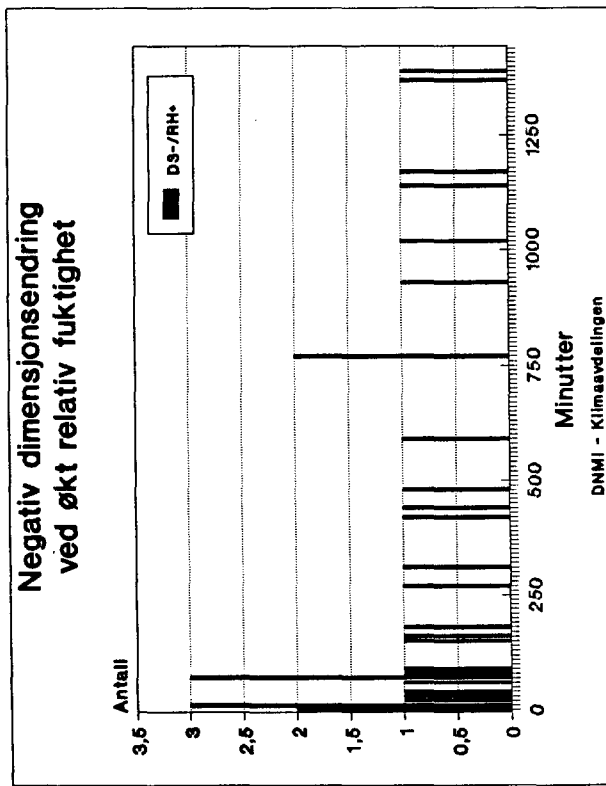
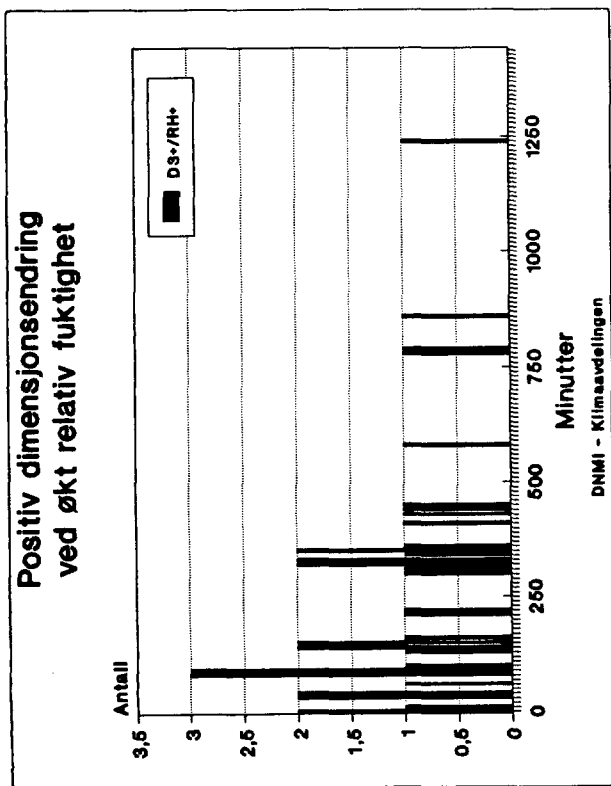
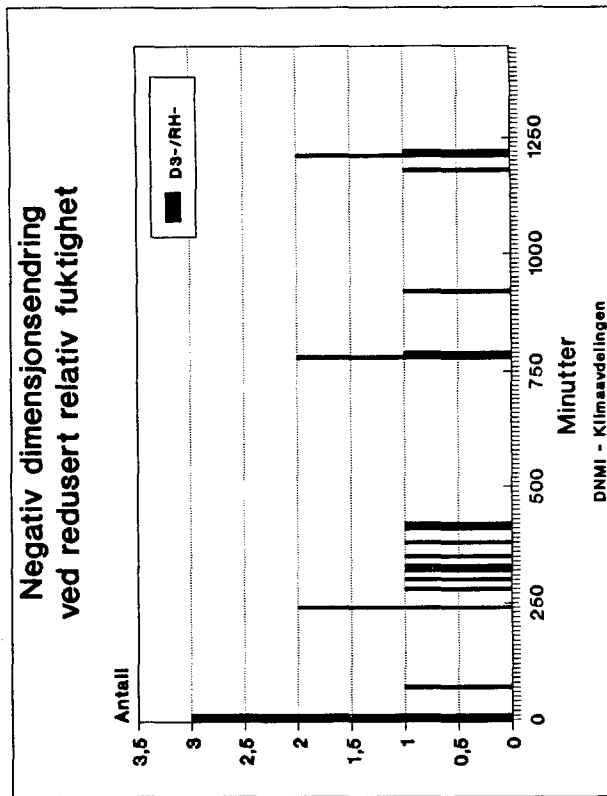
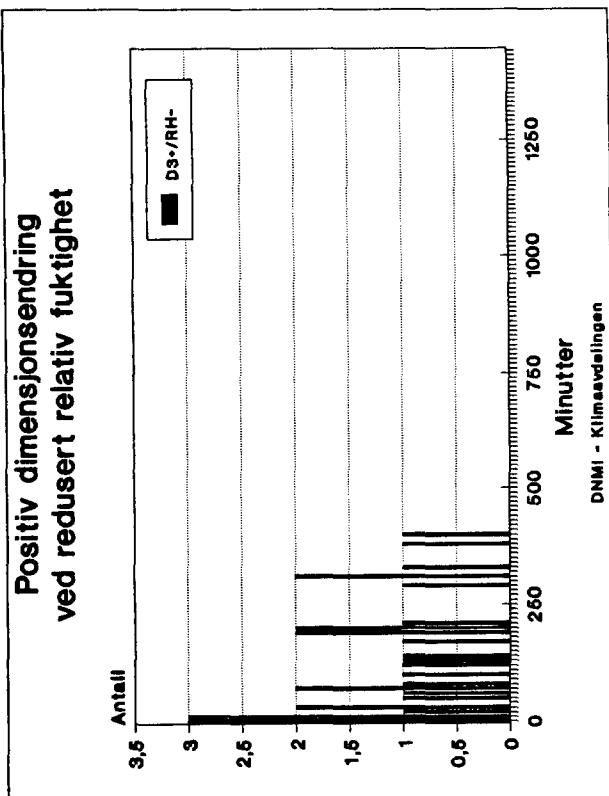
Figur 9.5 Dimensjonsendring D_2 versus relativ fuktighet.



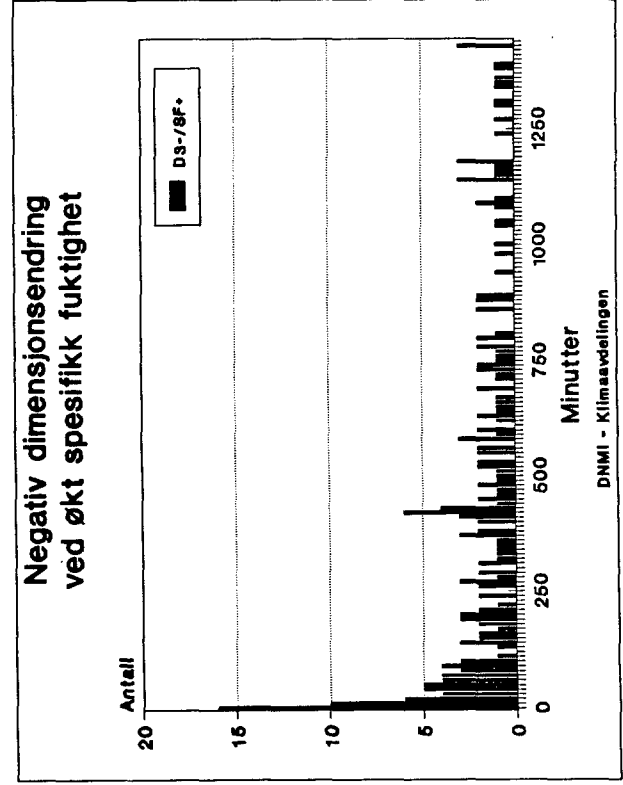
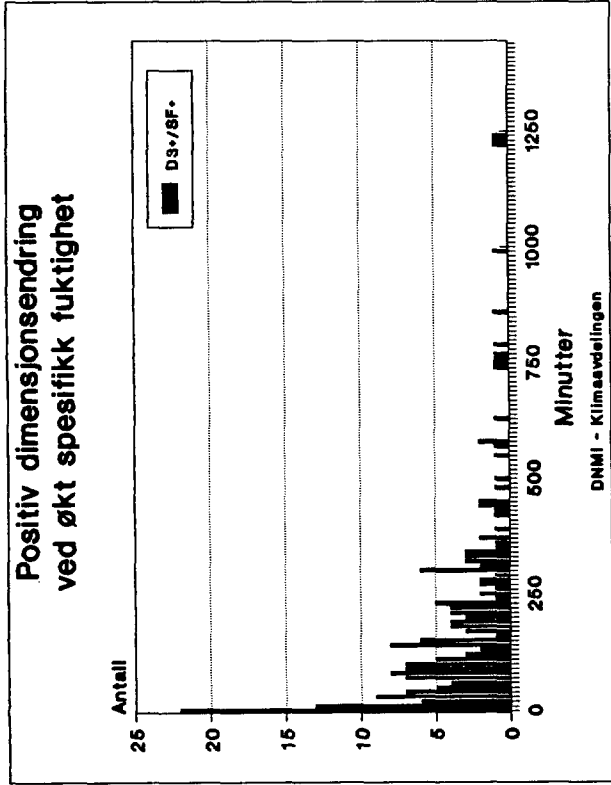
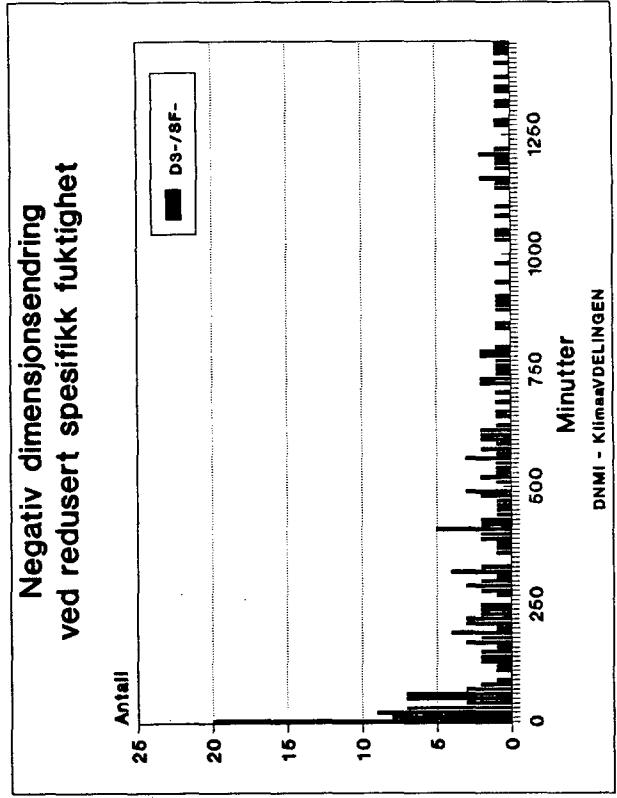
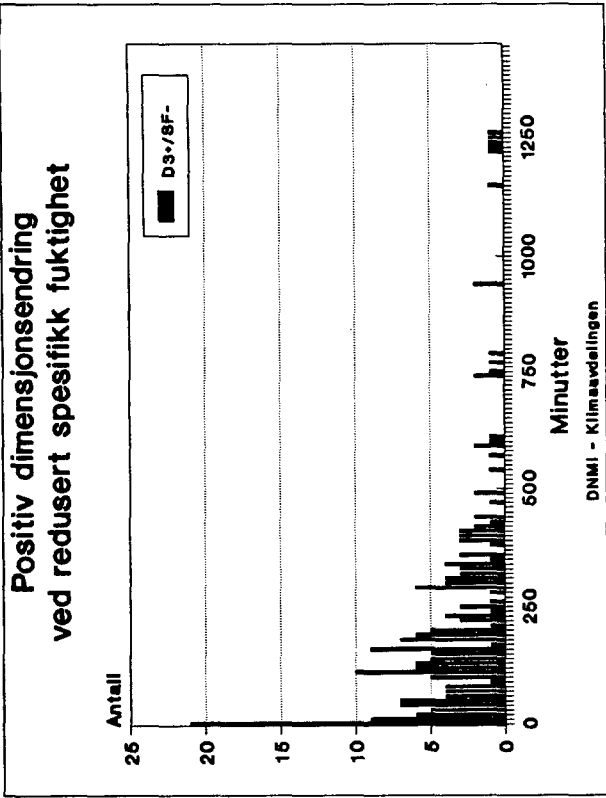
Figur 9.6 Dimensjonsendring D_2 versus spesifikk fuktighet.



Figur 9.7 Dimensjonsendring D_3 versus temperatur.



Figur 9.8 Dimensjonsendring D_3 versus relativ fuktighet.



Figur 9.9 Dimensjonsendring D_3 versus spesifikk fuktighet.

Vedlegg

Beskrivelsesmåter av fuktighet i luft.

Luft veier "noe" - lufttrykket er vekten av alle gassmolekyler i en søyle fra jordoverflaten ut til atmosfærens ytterkant, også vanndampmolekyler. Sorterer vi ut alle vanndampmolekylene og veier disse separat, vil de utgjøre en vektandel eller deltrykk (partialtrykk) av det totale lufttrykket.

Vanndampens partialtrykk eller vanndamptrykket (VP) er den vanligste måten å angi "mengden av fuktighet" i luft og angis i mb eller hPa (millibar eller hektopascal).

Luftens evne til å oppta fuktighet og å holde på denne er avhengig av temperaturen i luften. En gitt temperatur svarer derfor til et maksimalt fuktighetsinnhold, eller det vi kaller "vanndampens metningstrykk" som kan uttrykkes som

$$SVP = A \exp(BT/(C+T))$$

hvor SVP er på "godt norsk" saturating vapour pressure eller nettopp vanndampens metningstrykk, A,B,C er konstanter og T er temperaturen.

Den relative fuktigheten er da definert som (i % ganget med 100)

$$RH = VP/SVP$$

hvor VP er det aktuelle vanndamptrykket i luften. RH angir da bare hvor mye fuktighet det er i luften, i forhold til hva som maksimalt kunne vært der. For å vite hvor fuktig det er, må vi først vite temperaturen for å beregne SVP, deretter kan vi via RH beregne VP som gir oss mengden av fuktighet i luften.

Relativ fuktighet gir altså en oppfatning av hvor fuktig luften kjennes eller virker, men den angir IKKE den direkte mengden av vanndamp eller fuktighet i luften.

Ved siden av VP finnes andre måter å angi fuktighetsinnhold:

absolutt fuktighet = mengde vanndamp i g pr kubikk m fuktig luft

spesifik fuktighet = mengde vanndamp i g pr kg fuktig luft

blandings forhold = mengde vanndamp i g pr kg tørr luft

alle disse spesifiserer "mengde (g) av fuktighet" som er inneholdt i en betraktet luftmasse og da uavhengig av temperaturen.

Referanser

- 1 Kelsey K.E. The sorption of water vapour by wood
Aust. J. appl. Sci. 8, 42-54 1957
referert i Plant-Water relationships by R.O. Slatyer
Academic Press 1967
- 2 Personlig meddelelse, Erik Raknes, Norsk Treteknisk Institutt
- 3 Materiale oversendt av Erik Raknes, Norsk Treteknisk Institutt
- 4 Wilda H. Das Holz, Aufbau, Eigenschaften und Verwendung
G.J. Göschen'sche Verlagshandlung
Leipzig 1909