

FFIBM/691/159

Godkjent  
Kjeller 13 september 1999



Per Thoresen  
Forskningssjef

**En undersøkelse av vanndamptransport gjennom  
aktuelle materialer til benyttelse i forsvarets  
feltuniform**

SOLBERG Tale Såstad, MARTINI Svein

FFI/RAPPORT-99/04403

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2007 Kjeller, Norge

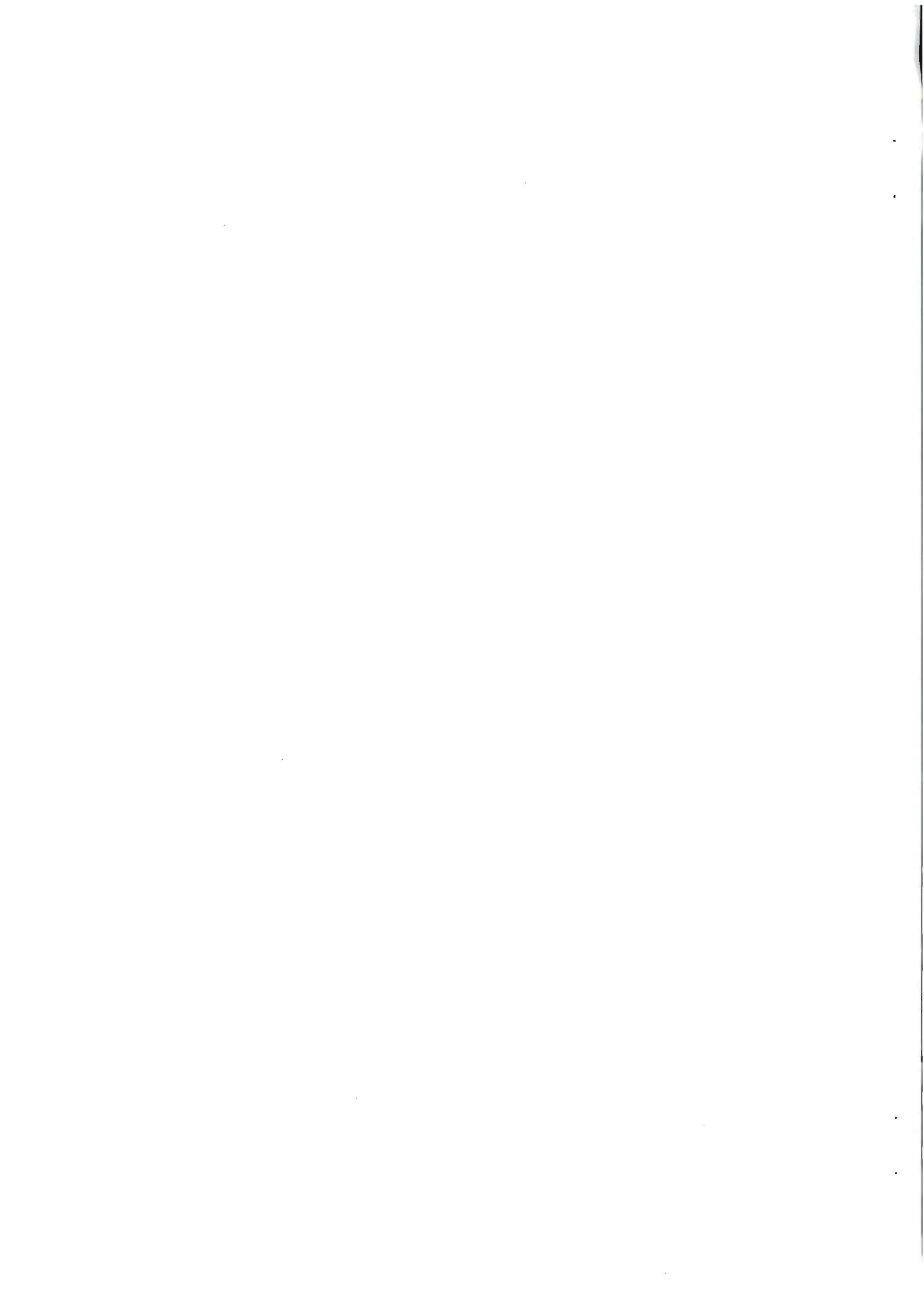






**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	6
2	TEORI	6
3	MATERIAL OG METODE	8
3.1	Apparatur	9
3.2	Tekstilprøver	10
3.3	Oppsett	11
3.4	Målinger	13
4	RESULTATER	13
4.1	Resultater ved -20°C	14
4.2	Resultater ved -10°C	15
4.3	Resultater ved 0°C	16
4.4	Resultater ved 20°C	18
5	DISKUSJON	21
6	KONKLUSJON	24
	Litteratur	26
	Fordelingsliste	27



## En undersøkelse av vanndamptransport gjennom aktuelle materialer til benyttelse i forsvarets feltuniform

### 1 INNLEDNING

Prosjekt 691 Vinterkrig er et todelt prosjekt. Det er ett utviklingsområde; utvikling av kokeapparat. Den andre delen er kartlegging av forsvarets feltbekledning. Dette området av prosjektet tar også sikte på å bygge opp kompetanse når det gjelder bekledning.

For en soldat som er ute i feltet, kan ikke betydningen av varme og tørre klær overvurderes. Under utendørs tjeneste om vinteren, vil soldaten veksle mellom aktivitet og hvile. Under aktivitetsperioden vil svette akkumuleres på huden og transporteres til omgivelsene gjennom bekledningen. Dersom bekledningens pustende egenskaper er dårlige, vil ikke så mye vanndamp avgis til omgivelsene, men tas opp i bekledningen. Når så aktiviteten opphører, og soldaten hviler, kan dette medføre et betydelig varmetap ettersom vann forringer klærnes isolasjonsevne. Materialets pusteegenskaper er derfor essensielle; ikke bare når det gjelder soldatens komfort, men også sikkerhet.

Det er en stor industri tilknyttet utviklingen av pustende materialer, og produktene på markedet er mange. Ettersom produsentene av et materiale naturligvis reklamerer varmt for sitt eget produkt, er det viktig å selv foreta undersøkelser som kan avgjøre hvilket materiale man bør satse på. Videre er mange forsøk som er utført, utført under såkalt standard betingelser (20°C, 65% relativ fuktighet). Dette gjelder både materialenes oppgitte verdier fra produsenten, og forsøk beskrevet i litteraturen. Disse forholdene er ikke representative for norsk vinterklima, der vi både kan forvente oss lave temperaturer og vind.

I denne rapporten presenteres det en beskrivelse av forsøk gjort for å sammenligne ulike materialers pusteegenskaper under ulike omgivelser representativt for vinterforhold, samt resultatene av disse.

### 2 TEORI

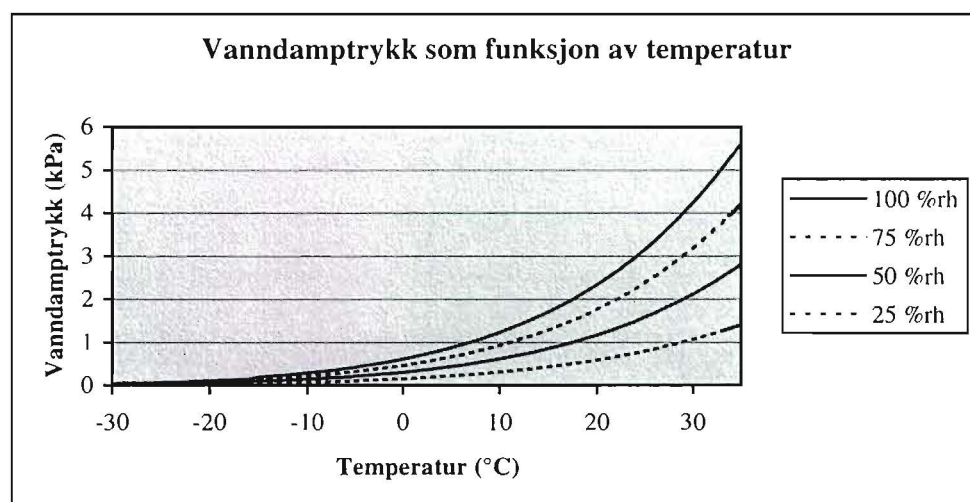
Transporten av vanndamp finnes ut fra ei ligning av typen

$$j = \frac{A\beta\Delta P}{R} \quad (2.1)$$

Her er  $j$  vanndamptransporten (kg/s),  $A$  er arealet av prøven,  $\Delta P$  er partialtrykkdifferansen av vanndamp over og under prøven (Pa),  $\beta$  er kapasitanskoeffisienten ( $\text{kg/m}^3\text{Pa}$ ), og  $R$  er resistansen (s/m). Kapasitanskoeffisienten beskriver forholdet mellom partialtrykket og vanndampkonsentrasjonen:

$$\Delta C = \beta \Delta P \quad (2.2)$$

Når temperaturen avtar, avtar det mettede vanndamptrykket eksponensielt (Figur 2-1). Ettersom vanndamptransporten er lineært avhengig av partialtrykkdifferansen (2.1), vil vanndamptransporten avta kraftig når temperaturen faller fra romtemperatur ned til minusgrader.



Figur 2-1 Vanndamptrykk som funksjon av temperatur. For det mettede vanndamptrykket (100 % relativ fuktighet (rh)) har vi eksponensiell økning med temperaturen. Når vi har 50 % relativ fuktighet, er vanndamptrykket halvparten så høyt som for 100 % relativ fuktighet ved samme temperatur

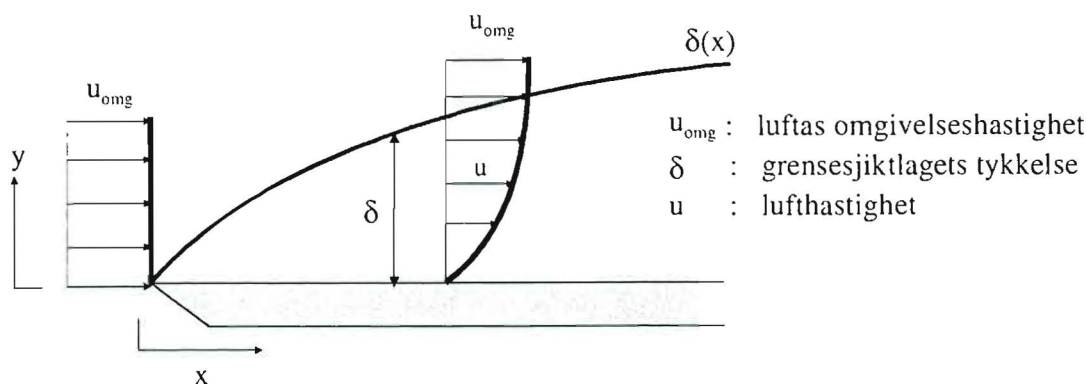
Videre er det viktig å merke seg, at verdien til  $R$  i ligning (2.1) er resistansen til alt mellom de to plan der partialtrykket blir bestemt.

Resistansen til prøven trenger heller ikke å være konstant. Særlig resistansen til tekstiler kledd med hydrofile (vanntiltrekkende) membraner ser ut til å avta med økende relativ fuktighet (2).

Ligning (2.1) beskriver en ren diffusiv transport, dvs transport som oppstår på grunn av en konsentrasjonsforskjell. Når man skal se på transporten av vanndamp, må man også ta hensyn til den konvektive massetransporten (transport som følger av bevegelse av luft). Når man har luftlag over tekstilet, vil det oppstå et såkalt grensesjiktlag.



Grensesjiktlaget kan forklares på følgende måte: Når partiklene i luften er i kontakt med tekstiloverflaten, antas de å ha null hastighet. Disse partiklene bremses så bevegelsen til partiklene i tilstøtende luftlag. Dette skjer videre utover i luftlagene helt til en avstand  $y=\delta$  der hastigheten til luftstrømmen,  $u$ , er nesten den samme som hastigheten til luften i omgivelsene,  $u_{omg}$  (effekten av grensesjiktlaget er neglisjerbar).  $\delta$  betegnes som tykkelsen til grensesjiktlaget, og er avhengig av overflatens geometri, samt hastigheten på den overgående luftstrømmen ( $u_{omg}$ ) (Figur 2-2).  $\delta$  er typisk definert som verdien av  $y$  når  $u = 0,99u_{omg}$ .



Figur 2-2 Grensesjiktlag over en plan flate.  $u_{omg}$  betegner hastigheten på den overgående luftstrømmen utenfor grensesjiktlaget. Med økende avstand  $y$  fra overflaten, øker  $x$ -komponenten av lufthastigheten  $u$  til den når  $u_{omg}$ . Profilen til grensesjiktlaget refererer til måten  $u$  varierer med  $y$  gjennom grensesjiktlaget

Eksempelvis vil tykkelsen på grensesjiktlaget til en ujevn overflate være større enn tykkelsen på grensesjiktlaget til en glatt flate. Jo mindre tykkelsen på grensesjiktlaget er, jo mer vann vil transporteres bort. I vårt tilfelle vurderer vi tykkelsen på grensesjiktlaget fra 0,5 - 5 mm.

### 3 MATERIAL OG METODE

Det å måle vanddamptransport kan gjøres med et utall teknikker, men de færreste gir de samme resultatene. Dette skyldes ofte det faktum at ulike teknikker gjerne måler ulike ting (2).

Unøyaktigheter i målingene kan også være en årsak.

Som nevnt i avsnitt 2, er  $R$  i ligning (2.1) resistansen til alt mellom de to plan der partialtrykket blir bestemt. Som regel, både i anvendelse og målinger, innbefatter dette luftlag. Bidraget fra disse luftlagene kan være signifikante. Alt ettersom hvilken metode man benytter, vil de nærliggende luftlagene gi ulike bidrag. Dersom man vil avgjøre resistansen til prøven alene, må resistansen av luftlagene bestemmes og korrigeres for. Videre fører implementasjonen av luftlag til at man også må vurdere bidraget fra den konvektive massetransporten (avsnitt 2).

Som nevnt i innledningen, ønsker vi å undersøke vanndamptransporten ved lave temperaturer. Vanndamptransporten avtar kraftig når temperaturen faller fra romtemperatur ned til minusgrader (avsnitt 2). Siden den diffusive vanndamptransporten er liten, vil betydningen av konveksjon være viktig for den totale transporten.

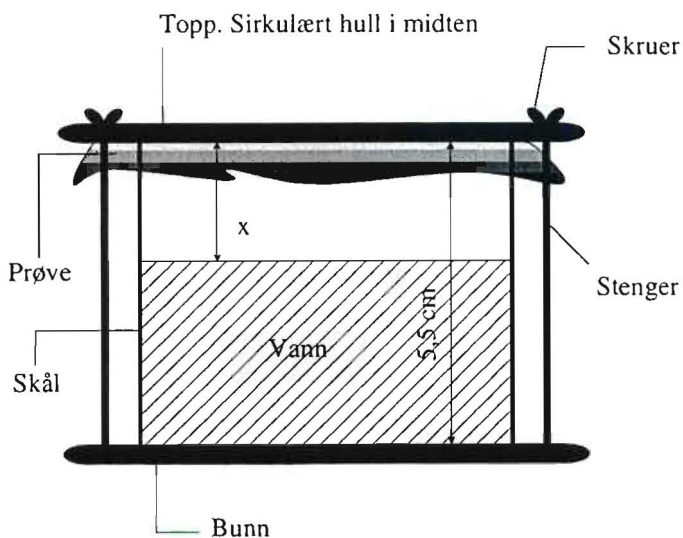
Det er også ønskelig å undersøke vanndamptransporten under ulik grad av relativ fuktighet, da dette ikke er en konstant parameter med tanke på aktivitet i kulde.

De kriteriene vi ønsker å undersøke vanndamptransporten ut fra, kan oppsummeres i følgende punkt:

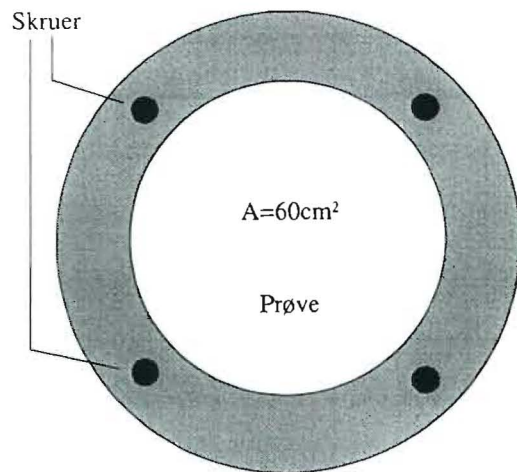
1. Hvilket materiale puster best under kalde omgivelser?
2. Hvor stor effekt har konveksjon på transporten?
3. Hvordan påvirkes transporten av luftfuktigheten i omgivelsene?

### 3.1 Apparat

Den metoden vi benytter er en av de aller enkleste (5). En skål fylles med vann, og prøven legges over. Vi bruker en egendesignet konstruksjon for å holde prøven på plass (Figur 3-1 og Figur 3-2). To plater og fire skruer sørger for at prøven ligger tett mot kanten av skåla.



Figur 3-1 Skjematisk framstilling av konstruksjon benyttet for måling av vanndamptransport.  $x$  er tykkelsen på luftlaget mellom vannflaten og prøven



Figur 3-2 Konstruksjonen sette ovenfra. Det sirkulære hullet i topplaten sikrer likt areal for samtlige prøver

Når skålen veies over et tidsintervall, vil vekttapet være et uttrykk for vanndampstrømmen gjennom prøven og de nærliggende luftlag (luftlaget med tykkelse  $x$  (Figur 3-1) fra vannoverflate til prøve, samt luftlag over prøven). Vanskeligheten med metoden er å ha tilstrekkelig kontroll på parametre som temperatur, relativ fuktighet, samt hvilken grad av konveksjon vi har i omliggende luftlag.

Gretton et al (3) undersøkte betydningen av luftlagets tykkelse,  $x$ , for vanndamptransporten. I forsøket ble det benyttet luftgap mellom 4 og 34 mm. Det viste seg, at fallet i vanndamptransporten med økende luftgap var lineært når luftgapet var mellom 4 og 12 mm. Ved luftgap større enn 13 mm, var vanndamptransporten konstant. I våre forsøk har avstanden  $x$  vært forsøkt holdt i overkant av 13 mm.

### 3.2 Tekstilprøver

Materialet i dagens feltuniformer er en blanding av bomull og polyester. Dette blir testet sammen med et utvalg av pustende materialer.

Materialer som både er vanntette og pustende, finnes i to hovedformer (2):

1. Mikroporøse membraner eller belegging
2. Belegging av et hydrofilt polymer på et kompakt materiale

Av den første typen blir to merker testet; Gore-Tex og Triplepoint Ceramic 1600. Gore-Tex er en mikroporøs teflon- membran (polytetrafluoretylen (PTFE)) laminert til ulike

ytter/innerstoff, i dette tilfellet polyester. Triplepoint er en mikroporøs belegging som inneholder keramiske partikler.

Av den andre typen tester vi Bretex High Performance, Helox Extreme og Sympatex. Bretex og Helox er begge nylon belagt med polyuretan. Sympatex er en kompakt hydrofil polyestermembran.

Produsent og typebetegnelse er oppført i Tabell 3.1. Ved senere henvisninger til materialtype, vil produktnavnet i Tabell 3.1 bli benyttet.

Produktnavn	Produsent	Type
Gore-Tex	Gore	1
Triplepoint	Vertikal A/S	1
Bretex	Mosjøen Veveri AS	2
Helox	Helox AS	2
Sympatex	Akzo Nobel	2

*Tabell 3.1 Tekstiltypene benyttet i testene, deres produsent og type (form av vanntett/pustende).*

Materialenes fysiske egenskaper er presentert i Tabell 3.2

	Varevekt g/m <sup>2</sup>	Vanntetthet m vannsøyle	Luftgjennomgang l/(m <sup>2</sup> s)
Bomull	285	Ca 0,50	Ca 30
Gore-Tex	185	>5	<0,5
Triplepoint	140	>5	<0,5
Bretex	215	>5	<0,5
Helox	205	>5	<0,5
Sympatex	210	>5	<0,5

*Tabell 3.2 De ulike materialenes fysiske egenskaper*

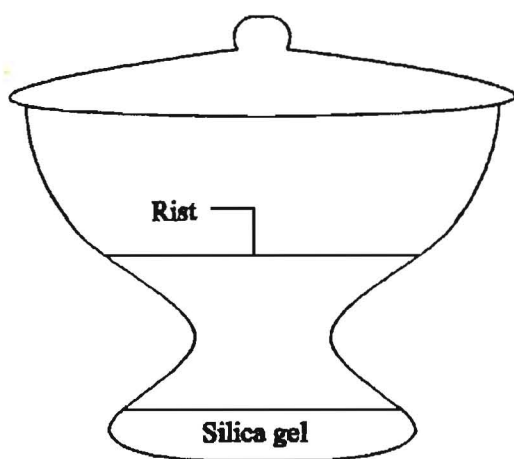
Materialene har vi fått fra produsenten. Det ble bedt om prøver av tekstiler som kunne passe i en robust ytterbekledning.

### 3.3 Oppsett

Typiske temperaturer for norsk vinterklima varierer fra noen få plussgrader til under 20 minusgrader. Vi valgte derfor tre temperaturer i dette intervallet: -20°C, -10°C og 0°C. Ved de to laveste temperaturene var det knust is i skåla.

De fleste forsøk i litteraturen der vanddamptransporten gjennom tekstiler er målt, er imidlertid utført ved standard temperatur, dvs 20 grader. Vi inkluderte derfor også forsøk i romtemperatur. Disse forsøkene ble utført i rom der temperaturen lå mellom 19 og 24°C. Forsøkene som ble utført ved de tre laveste temperaturene, ble foretatt i klimakammer. Selv om kammertemperaturen var innstilt på de nevnte verdier, var det likevel noen fluktuasjoner.

For å variere konveksjonen, ble prøvene plassert i tre ulike miljøer: Eksikator, rom og vind. Eksikatorene er en tett beholder, så bidraget til massetransport fra eventuelle luftstrømmer er minimalt. Prøven ble plassert på en rist, og silica gel (tørkemiddel) ble lagt i bunnen av eksikatorene (Figur 3-3).



Figur 3-3 Eksikator med silica gel i bunn. Prøven plasseres på rist

For å øke graden av konveksjon, ble prøven satt i rom. For de tre laveste temperaturene var dette, som tidligere nevnt, et klimakammer. Aktiviteten i kammeret var minimal. Ved romtemperatur sto prøvene i et rom som også ble brukt til andre formål, slik at den tvungne konveksjonen (vind, etc) nok var en del høyere enn i kammeret.

Ved å inkludere vind, ble effekten av konveksjon enda tydeligere. For forsøk utført ved de to høyeste temperaturene, ble prøvene plassert i rom 50 cm fra en vifte koblet til en spenningskilde. Luftstrømmen traff normalt på konstruksjonen beskrevet i avsnitt 3.1, og hastigheten ble målt rett over denne (luftstrømmen var altså ikke plassert rett på prøven). Vindhastigheten lå fra 1 – 3 m/s. Ved –20 grader ble viftene i kammeret benyttet. Det ble ikke utført vindforsøk i temperaturer rundt –10 grader.

For å se på effekten av varierende relativ fuktighet, ble prøvene plassert i klimakammer. Fuktigheten i kammeret ble regulert ved å sette inn luftfuktere. Relativ fuktighet og temperatur

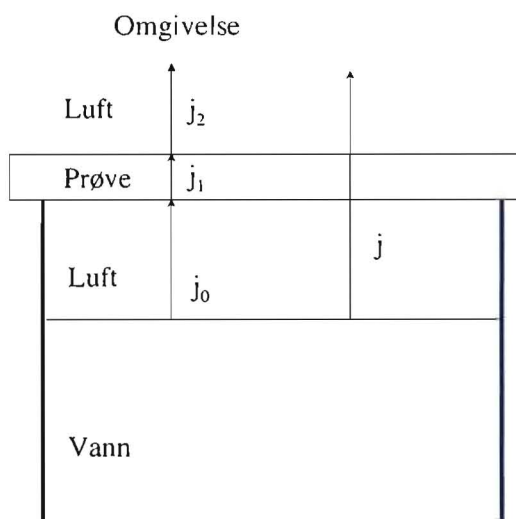
i kammeret ble målt hvert 30. minutt. For å forhindre eventuelle feilkilder relatert til ulike prøver og skåler, ble det utført flere forsøk med samme prøve.

### 3.4 Målinger

Prøvene ble veid omtrent en gang i døgnet. Før veiing sto de noen timer for å tilpasses omgivelsene. I de tilfeller der relativ fuktighet og temperatur ikke ble kontinuerlig logget, ble disse verdiene målt samtidig med veiing. Prøvene sto i 3-7 dager.

## 4 RESULTATER

I de forsøkene som er utført, har vi ikke fått tilstrekkelig kontroll på måling av relativ fuktighet. Ettersom bestemmelsen av materialets vanndampmotstand,  $R$ , er avhengig av nøyaktige målinger av partialtrykkdifferansen, vil vi heller betrakte den målte vanndamptransporten  $j$  målt i gram vann pr time. Her er  $j$  transporten av vanndamp gjennom både luftlaget fra vannoverflate til prøve, gjennom selve prøven, og luftlaget over prøven (Figur 4-1).



*Figur 4-1 Skisse som viser hvilke lag vanndampen transporteres over. Vanndamptransporten ( $j$ ) foregår mellom vann og prøve ( $x_0$ ), prøve ( $x_1$ ) og gjennom grensesjiktlaget over prøven til omgivelsene ( $x_2$ )*

Selv om omgivelsesparametrene (temperatur, relativ fuktighet, konveksjon) varierer noe, vil målingene likevel gi et bilde av de kvalitative egenskapene til materialene.

#### 4.1 Resultater ved -20°C

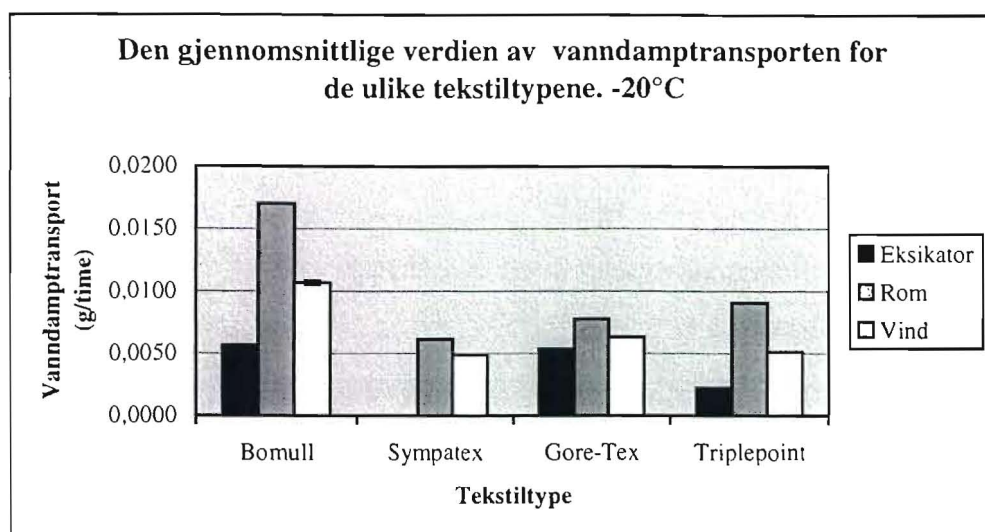
Den gjennomsnittlige verdien av vanndamptransporten  $j$  under de ulike omgivelsene er presentert i Tabell 4.1 og Figur 4-2. Det er kanskje noe overraskende at transporten gjennom tekstilene er større når prøvene står i rom enn når de er eksponert for vind, men dette kan forklares ved den høye relative fuktigheten som er i kammeret når viftene står på<sup>1</sup> (Tabell 4.1). Vindhastigheten i kammeret var på ca 1 m/s.

Resultater ved -20°C						
Verdier		Rh (%)	T (°C)	j (g/time)	Stdav	n
Materiale	Omgivelse					
Bomull	Eksikator		-23 – -19	0,0057		1
	Rom	21 – 22	-23 – -19	0,0170		1
	Vind	43 – 55	-19 – -20	0,0107	0,0002	2
Gore-Tex	Eksikator	22 – 25	-23 – -19	0,0053		1
	Rom	21 – 22	-23 – -19	0,0078		1
	Vind	43 – 55	-19 – -20	0,0063	0,0000	2
Sympatex	Rom	21 – 22	-23 – -19	0,0061		1
	Vind	43 – 55	-19 – -20	0,0049		1
Triplepoint	Eksikator	22 – 25	-23 – -19	0,0022		1
	Rom	21 – 22	-23 – -19	0,0091		1
	Vind	43 – 55	-19 – -20	0,0051	0,0000	2

Tabell 4.1 Resultater ved -20°C. Det er gjennomsnittsverdien til vanndamptransporten ( $j$ ) som er benyttet. Stdav står for standardavvik, og har samme benevning som vanndamptransporten.  $n$  betegner antall forsøk som er utført under de gitte betingelsene

Vi ser, at det er bomull som har den klart høyeste vanndamptransporten når prøvene står i rom eller er utsatt for vind. Når prøvene er plassert i eksikator, er ikke forskjellen mellom bomull og Gore-Tex stor (6%), mens vanndamptransporten gjennom Triplepoint er 2,5 ganger lavere enn transporten gjennom bomull og Gore-Tex. Her er det imidlertid bare utført ett forsøk.

<sup>1</sup> Denne forandringen i relativ fuktighet skyldes trolig forhold i forbindelse med klimakammerets konstruksjon.



Figur 4-2 Snittverdien av vanndamptransporten (g/time) ved -20°C. Standardavviket er markert med de vertikale linjene

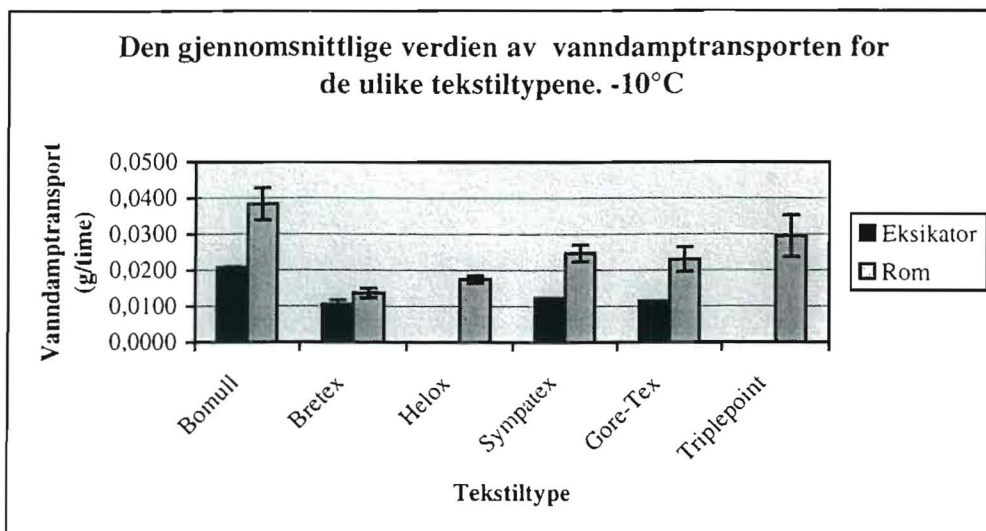
## 4.2 Resultater ved -10°C

Også ved -10°C er det bomull som har den høyeste vanndamptransporten, både for prøver i rom og prøver i eksikator (Tabell 4.2 og Figur 4-3). Standardavviket til bomull og Triplepoint er imidlertid ganske store, slik at vanndamptransporten gjennom Triplepoint kan sidestilles med transporten gjennom bomull. Det er ikke utført forsøk med vind i dette temperaturområdet.

Resultater ved -10°C						
Verdier		Rh (%)	T (°C)	j (g/time)	Stdav	n
Materiale	Omgivelse					
Bomull	Eksikator	35 – 40	-13 – -10	0,0208	0,0002	2
	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0384	0,0045	6
Bretex	Eksikator	25 – 24	-12 – -10	0,0105	0,0012	2
	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0137	0,0014	4
Gore-Tex	Eksikator	47 – 50	-12 – -10	0,0114		1
	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0230	0,0034	5
Helox	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0175	0,0010	2
Sympatex	Eksikator	23 – 30	-15 – -9	0,0124		1
	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0247	0,0023	6
Triplepoint	Rom	23 – 36	-13 – -10	0,0295	0,0058	3

Tabell 4.2 Resultater ved -10°C. Det er gjennomsnittsverdien til vanndamptransporten (j) som er benyttet. Stdav står for standardavvik, og har samme benevnning som vanndamptransporten. n betegner antall forsøk som er utført under de gitte betingelsene





Figur 4-3 Snittverdien av vanndamptransporten (g/time) ved -10 °C. Standardavviket er markert med de vertikale linjene

### 4.3 Resultater ved 0°C

Når prøvene er eksponert for vind, er det igjen bomull som har den høyeste vanndamptransporten (Tabell 4.3 og Figur 4-4). Vindhastigheten over prøvene lå mellom 1 og 2 m/s.

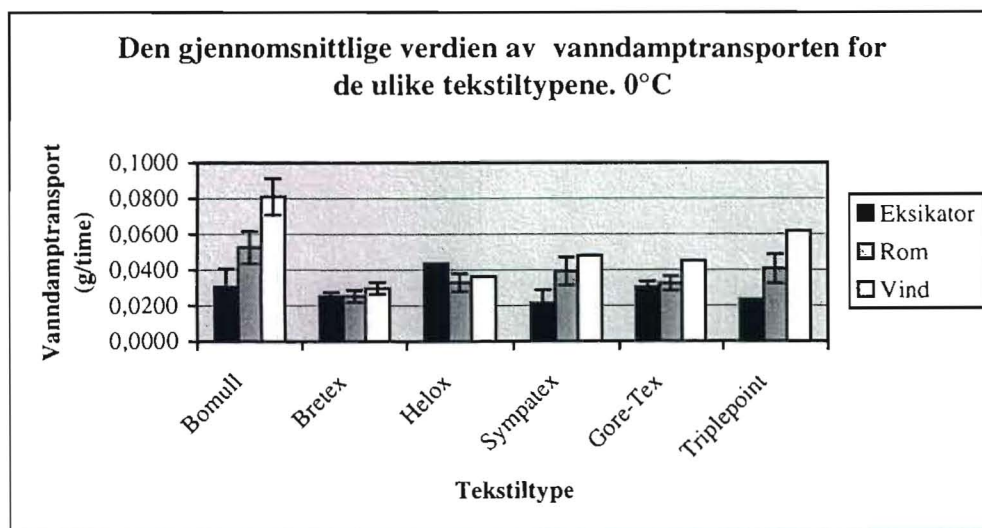
Gjennomsnittsverdien for transporten gjennom bomull er også høyest når prøvene står i rom, men her er standardavvikene relativt store. Vanndamptransporten gjennom både Triplepoint og Sympatex kan sidestilles med transporten gjennom bomull.

For prøver i eksikator er ikke forskjellene like store. Helox har den høyeste vanndamptransporten, men her er det bare utført ett forsøk. I tillegg har den relative fuktigheten i eksikatoren variert til dels kraftig (Tabell 4.3).

Med unntak av Bretex og Helox, ser vi at vanndamptransporten har en tydelig økning når konveksjonen øker.

Resultater ved 0°C						
Verdier		Rh (%)	T (°C)	j (g/time)	Stdav	n
Materiale	Omgivelse					
Bomull	Eksikator	28 – 60	-2 – 1	0,0306	0,0100	5
	Rom	24 – 35	-1 – 0	0,0526	0,0090	6
	Vind	22 – 37	-2 – -1	0,0810	0,0102	3
Bretex	Eksikator	25 – 30	-2 – -1	0,0252	0,0023	2
	Rom	24 – 40	-1 – 0	0,0253	0,0033	7
	Vind	29 – 37	-2 – -1	0,0297	0,0033	2
Gore-Tex	Eksikator	30 – 43	0 – 2	0,0304	0,0032	4
	Rom	24 – 40	-1 – 0	0,0324	0,0041	9
	Vind	20 – 24	-2 – -1	0,0480	0,0027	2
Helox	Eksikator	28 – 38	-2 – 0	0,0435		1
	Rom	24 – 40	-1 – 0	0,0328	0,0050	2
	Vind	26 – 32	-2 – -1	0,0363		1
Sympatex	Eksikator	38 – 56	-1 – 1	0,0213	0,0075	3
	Rom	24 – 40	-2 – 0	0,0393	0,0079	11
	Vind	29 – 37	-2 – -1	0,0481	0,0001	2
Triplepoint	Eksikator	40 – 52	-2 – 0	0,0234		1
	Rom	24 – 35	-2 – 0	0,0407	0,0081	8
	Vind	20 – 24	-2 – -1	0,0618		1

Tabell 4.3 Resultater ved 0°C. Det er gjennomsnittsverdien til vanndamptransporten (j) som er benyttet. Stdav står for standardavvik, og har samme benevning som vanndamptransporten. n betegner antall forsøk som er utført under de gitte betingelsene



Figur 4-4 Snittverdien av vanndamptransporten (g/time) ved 0°C. Standardavviket er markert med de vertikale linjene

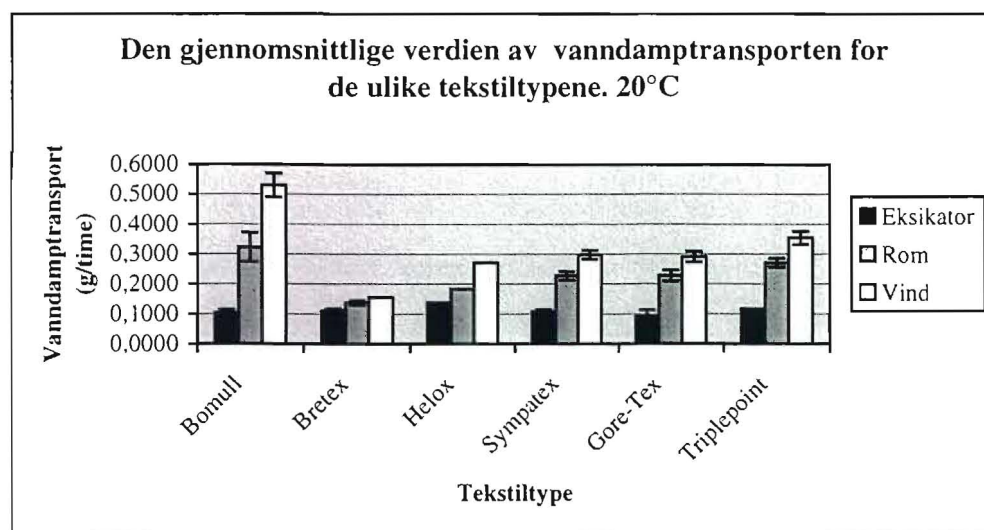
#### 4.4 Resultater ved 20°C

I omgivelsene rom og vind, er det igjen bomull som har den høyeste vanndamptransporten (Tabell 4.4 og Figur 4-5). Vindhastigheten over prøven var her på mellom 2 og 4 m/s. Transporten gjennom Triplepoint er klart større enn transporten gjennom de fire andre materialene, mens Triplepoint og Gore-Tex har sammenlignbare transportrater. Bretex kommer dårligst ut med tanke på transport.

Resultater ved 20°C						
Verdier		Rh (%)	T (°C)	j (g/time)	Stdav	n
Materiale	Omgivelse					
Bomull	Eksikator	50 – 70	21 – 22	0,1041	0,0110	3
	Rom	13 – 32	22 – 24	0,3228	0,0487	3
	Vind	18 – 28	21 – 23	0,5303	0,0396	4
Bretex	Eksikator	51 – 59	21 – 22	0,1108	0,0066	2
	Rom	22 – 28	21 – 23	0,1372	0,0079	3
	Vind	26 – 27	21 – 22	0,1556		1
Gore-Tex	Eksikator	44 – 67	20 – 23	0,0919	0,0201	3
	Rom	13 – 32	22 – 24	0,2278	0,0189	3
	Vind	17 – 25	21 – 24	0,2962	0,0171	3
Helox	Eksikator	44 – 60	20 – 23	0,1385		1
	Rom	24 – 32	22 – 24	0,1831		1
	Vind	26 – 27	21 – 22	0,2712		1
Sympatex	Eksikator	65 – 70	21 – 22	0,1080	0,0061	2
	Rom	13 – 30	21 – 24	0,2278	0,0148	3
	Vind	15 – 25	21 – 24	0,2968	0,0152	3
Triplepoint	Eksikator	30 – 70	20 – 23	0,1168		1
	Rom	13 – 32	22 – 24	0,2709	0,0151	2
	Vind	15 – 25	21 – 24	0,3542	0,0217	3

Tabell 4.4 Resultater ved temperaturer rundt 20°C. Det er gjennomsnittsverdien til vanndamptransporten (j) som er benyttet. Stdav står for standardavvik, og har samme benevning som vanndamptransporten. n betegner antall forsøk som er utført under de gitte betingelsene

Når prøvene står i eksikator, er det Helox, som har den største transporten. Helox ligger 50% over transporten gjennom Gore-Tex, som har den laveste vanndamptransporten.



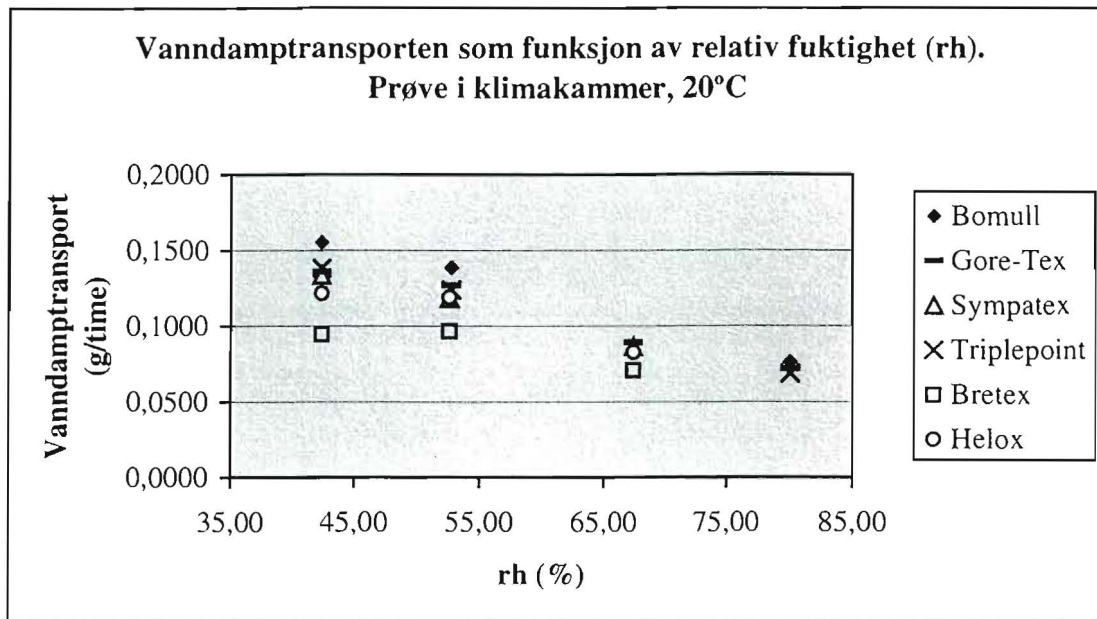
Figur 4-5 Snittverdien av vanndamptransporten (g/time) ved 20°C. Standardavviket er markert med de vertikale linjene

Ved 20 grader er det også utført forsøk for å undersøke hvordan relativ fuktighet påvirker vanndamptransporten. Forsøkene er utført i klimakammer, der konveksjonen er lav.

Resultatene er presentert i Tabell 4.5 og i Figur 4-6.

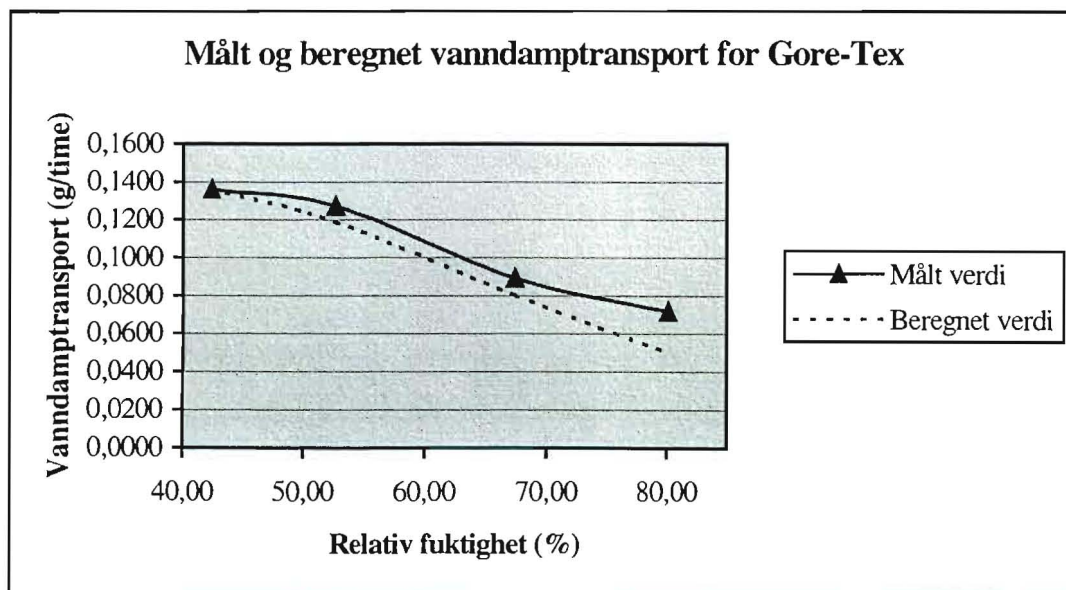
<b>Resultater ved varierende relativ fuktighet. 20°C</b>				
rh (%)	Verdier		Stdav	n
	Materialer	j (g/time)		
42	Bomull	0,1553	0,0068	2
	Bretex	0,0944	0,0030	2
	Gore-Tex	0,1359	0,0021	3
	Helox	0,1215		1
	Sympatex	0,1334	0,0064	2
	Triplepoint	0,1379	0,0089	2
53	Bomull	0,1387	0,0062	6
	Bretex	0,0966	0,0024	2
	Gore-Tex	0,1270	0,0033	7
	Helox	0,1188		1
	Sympatex	0,1183	0,0003	2
	Triplepoint	0,1238	0,0074	4
67	Bretex	0,0708	0,0043	15
	Gore-Tex	0,0892	0,0064	3
	Helox	0,0827	0,0056	3
	Sympatex	0,0864	0,0068	15
80	Bomull	0,0760	0,0029	4
	Gore-Tex	0,0716	0,0009	4
	Triplepoint	0,0685	0,0051	6

Tabell 4.5 Resultater for varierende relativ fuktighet. Det er gjennomsnittsverdien til vanndamptransporten (j) som er benyttet. Stdav står for standardavvik, og har samme benevnelse som vanndamptransporten. n betegner antall forsøk som er utført under de gitte betingelsene



Figur 4-6 Vanndamptransporten som funksjon av relativ fuktighet

Som ventet har vi en reduksjon av vanndamptransporten når den relative fuktigheten i kammeret øker. Reduksjonen er imidlertid ikke så stor som det man kunne forvente ut fra fallet i partialtrykkdifferansen. Ser man på fallet man får for partialtrykkdifferansen når man går fra 40% relativ fuktighet til 80% relativ fuktighet, ligger vanndamptransporten for de tre aktuelle materialene (Bomull, Gore-Tex og Triplepoint) mellom 30 til 40% over den forventede transporten. Når man går fra 40% relativ fuktighet til 67% relativ fuktighet, ligger vanndamptransporten 10 til 30% over forventet transport.



Figur 4-7 Målt og beregnet verdi av vanndamptransporten ved varierende relativ fuktighet. Ved 80% relativ fuktighet ligger den målte verdien 40% over den beregnede vanndamptransporten

Også for disse forsøkene er det bomull som opprettholder den høyeste transporten, selv om forskjellen fra de andre tekstilene ikke er like markert ved høy relativ fuktighet.

## 5 DISKUSJON

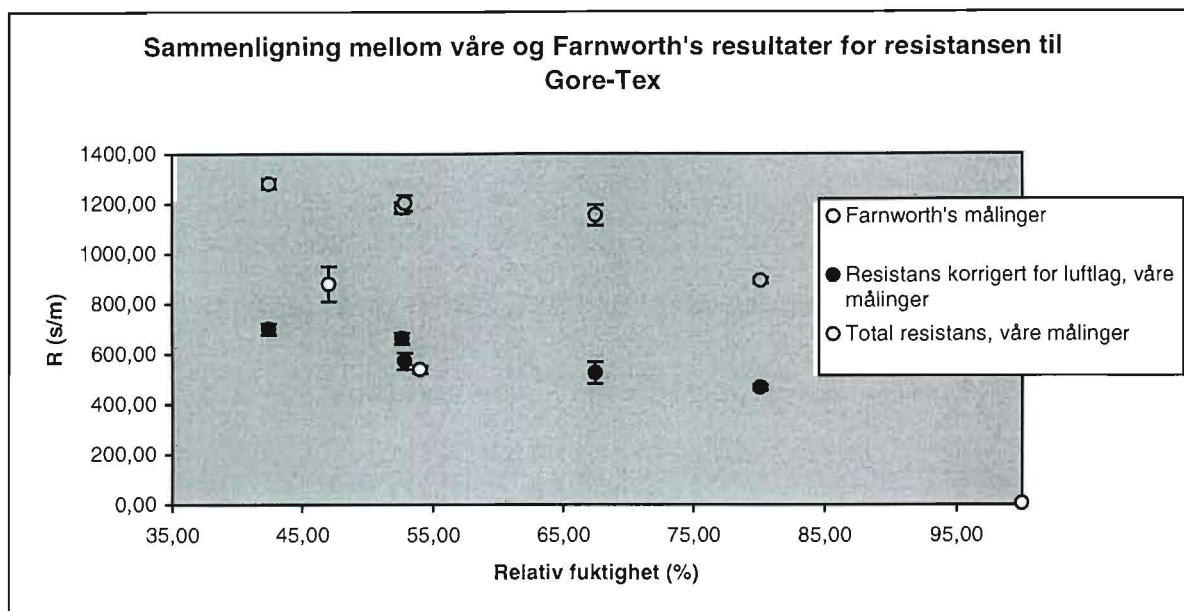
Målet med våre forsøk kan oppsummeres i to punkt:

1. Vi vil undersøke hvordan pusteegenskapene til materialer er under relevante omgivelser. Dvs lave temperaturer, ulik grad av vind, og varierende relativ fuktighet.
2. Vi ønsker å bestemme hvilket av materialene benyttet i undersøkelsen som har de beste pusteegenskapene under disse betingelsene.

Punkt 1 har vært den klart største utfordringen, og kan ikke sies å ha vært løst på en fullt ut tilfredsstillende måte. Det er særlig problemet med å opprettholde en konstant relativ fuktighet som har vært en utfordring. Vi har likevel vært i stand til å se klare tendenser når det gjelder materialenes pusteegenskaper, og er i stand til å nå målet under punkt 2. Før vi kommer så langt, vil vi diskutere en del vedrørende punkt 1.

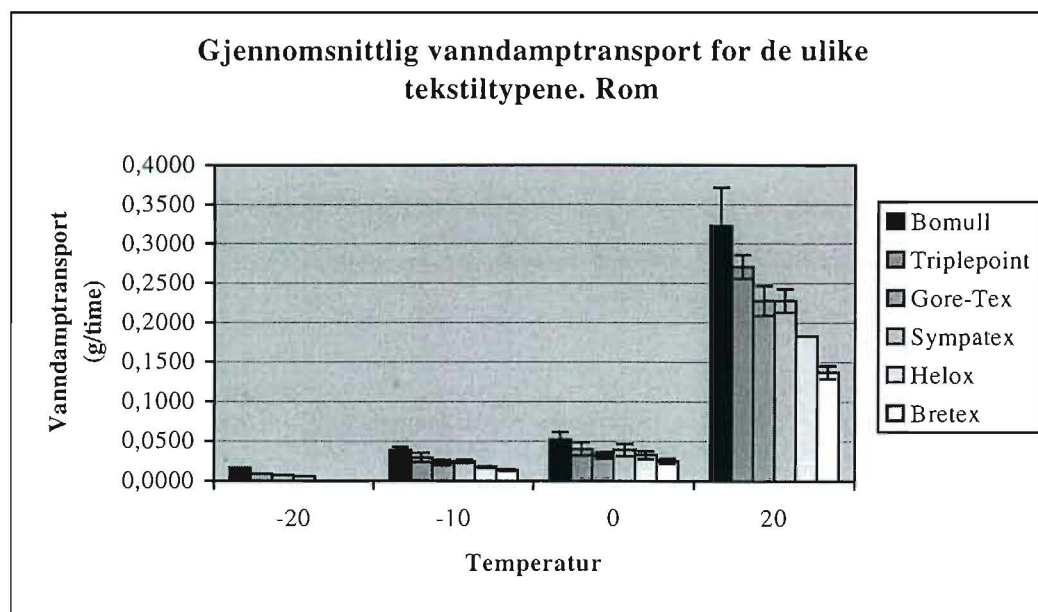
Vi har i våre forsøk sett på vanndamptransporten gjennom ikke bare membran, men også tilstøtende luftlag. Den reelle situasjonen, altså når tekstilet er benyttet som en del av bekledningen, vil inkludere luftlag både under (mellom bekledningslag) og over (mellom bekledning og omgivelse) tekstilet. Det er denne situasjonen vi har prøvd å gjenspeile.

De verdier som oppgis av produsenten, og også ofte i annen litteratur ((1), (2), (3), (5)), er vanndamptransporten (eller resistansen) til membranen alene. Våre verdier er derfor ikke sammenlignbare med disse resultatene. Som et eksempel har vi hentet verdier fra Farnworth et al. (2). Han har beregnet resistansen til en Gore-Tex –membran med ytterstoff. Vi har plottet disse verdiene sammen med den totale resistansen (resistansen av tekstil og luftlag) for Gore-Tex- tekstilet vi har brukt i våre forsøk, samt resistansen der vi har korrigert for bidraget fra luftlaget mellom vannflate og tekstil. Vi ser, at den totale resistansen er dobbelt så stor som resistansen til tekstilet alene (Figur 5-1). Luftlaget betyr altså like mye som membranen alene.



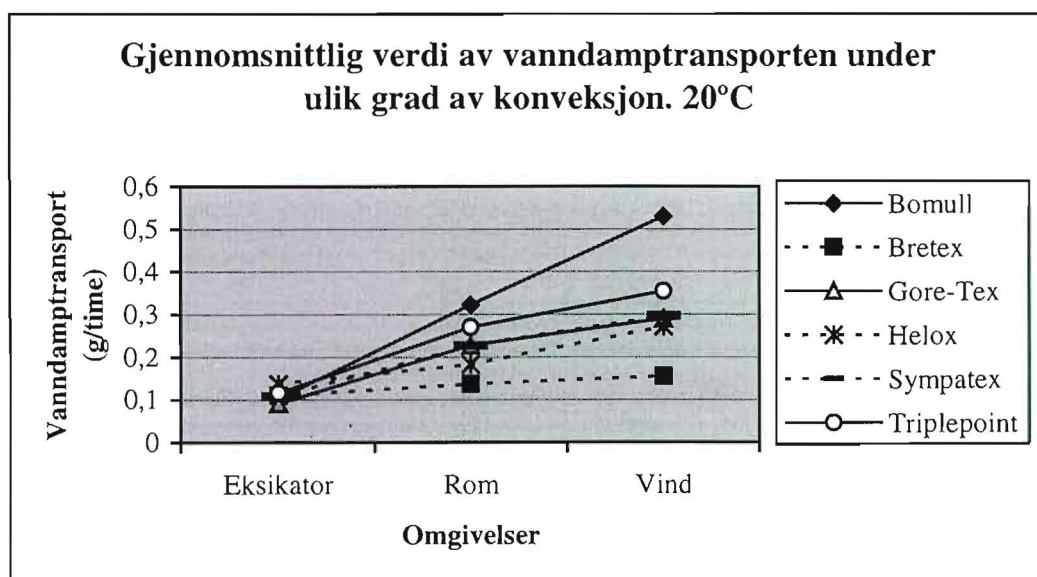
Figur 5-1 Sammenligning mellom våre og Farnworth's resultater. Total resistans er resistansen til hele apparaturet (inkluderer luftlag).

Et av punktene vi ville undersøke er, som tidligere nevnt, vanddamptransporten gjennom tekstilene ved lave temperaturer. Det vi ønsket å få klarhet i, var om noen av tekstilene avslørte spesielt gode eller dårlige transportegenskaper i kulde. Det viste seg, at vi fikk de samme tendensene her som ved romtemperatur. Figur 5-2 viser vanddamptransporten for forsøk utført i rom.



Figur 5-2 Vanddamptransporten for de ulike tekstilene under varierende temperatur. Forsøkene er utført i rom. Vi ser, at tendensen mht de beste transportegenskapene, er den samme uavhengig av temperaturen.

Man kan spørre seg om hvorfor vi velger å ta med resultatene fra forsøkene utført i eksikator, ettersom det her har vært spesielt vanskelig å opprettholde en konstant relativ fuktighet. Årsaken er, at vi ønsker å vise hvor mye bevegelsen i lufta har å si for vanndamptransporten. Selv om den relative fuktigheten i eksikatorene er høyere enn den i rom, så forklarer ikke det alltid hele forskjellen av økningen i transporten. Ved 0°C, øker for eksempel vanndamptransporten for bomull med 72%, mens partialtrykkforskjellen øker med 22% når vi ser på forskjellen mellom eksikator og rom. De resterende 50% skyldes konveksjon. Vi har imidlertid noen viktige unntak. Ved 20°C, er det ikke denne tendensen som gjelder for Bretex og Helox (som begge er nylon belagt med polyuretan). Her har man ikke en økning av vanndamptransporten når man korrigerer for effekten av høyere partialtrykkforskjell (Tabell 4.4 og Figur 5-3). Når det gjelder Bomull, skyldes den store økningen i vanndamptransporten en høyere verdi for luftgjennomgangen enn det som er tilfelle for de andre materialene (Tabell 3.2). Dette betyr, at Bomull er langt mindre vindtett enn de fire andre tekstilene vi har sett på.



*Figur 5-3 Gjennomsnittlig verdi av vanndamptransporten under ulik grad av konveksjon, 20°C. Selv om samtlige materialer har en økning i transporten når man går fra eksikator til rom, skyldes dette økt partialtrykkforskjell i tilfellene Bretex og Helox.*

Når vi ser på forandringen i vanndamptransport når vi går fra rom til vind, har alle prøvene en økning i transporten ved både 20°C og 0°C.



## 6 KONKLUSJON

I de forsøkene som har vært utført, har bomull hatt den klart høyeste vanndamptransporten i omgivelser med rom, vind og varierende relativ fuktighet. Transportegenskapene til bomull når prøven står i eksikator er ikke like overlegne, selv om bomull også her kommer bra ut. Dette gjelder særlig for de tre laveste temperaturområdene. Men som vi tidligere har drøftet, er ikke omgivelser uten noen form for vind en reell situasjon ute i feltet. Vi er derfor i stand til å nå målet under punkt 2 nevnt i begynnelsen av avsnittet: Med tanke på vanndamptransporten til materialen i testen, er det Bomull som har de beste egenskapene. Bomull er imidlertid ikke så vanntett som de andre tekstilene. Triplepoint er det materialet som har den nest høyeste vanndamptransporten, men den prøven vi har av Triplepoint er mye lettere enn de øvrige prøvene. De gode resultatene kan være en følge av dette. Dersom den lave vekten imidlertid ikke fører til mindre slitasjemotstand, lavere rivestyrke eller mindre vanntetthet enn de øvrige tekstilene, er dette et aktuelt materiale.

Forskjellene i vanndamptransport mellom Gore-Tex og Sympatex er neglisjerbare. Helox har resultater som ligger noe lavere enn Gore-Tex og Sympatex, men antall forsøk er noe færre for dette tekstilet enn for de øvrige. Konklusjonen blir, at dersom man kun betrakter pusteegenskapene til materialene i testen, er bomull best. Men vanntetthet er også viktig i denne sammenhengen. Dersom man også krever dette, komme Gore-Tex, Sympatex og Triplepoint best ut.





## Litteratur

- (1) Crow R M, Osczevski R J (1998): The interaction of water with fabrics, *Textile Research J.* **68**, 4, 280-288.
- (2) Farnworth B, Lotens W A (1990): Variation of water vapor resistance of microporous and hydrophilic films with relative humidity, *Textile research J.* **60**, 50 - 53.
- (3) Gretton J C, Brook D B, Dyson H M, Harlock S C (1998): Moisture vapor transport through waterproof breathable fabrics and clothing systems under a temperature gradient, *Textile Research J.* **68**, 12, 936-941.
- (4) Incropera F P, DeWitt D P (1996): Fundamentals of heat and mass transfer, Wiley, USA.
- (5) Lotens W A (1993): Heat transfer from humans wearing clothing.



## FORDELINGSLISTE

**FFIBM**
**Dato:** 13 september 1999

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 99/04403	REFERANSE FFIBM/691/159	RAPPORTENS DATO 13 september 1999
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  41	ANTALL SIDER  27
RAPPORTENS TITTEL En undersøkelse av vanddamtransport gjennom aktuelle materialer til benyttelse i forswarets feltuniform		FORFATTER(E) SOLBERG Tale Såstad, MARTINI Svein	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:  		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:  	

**EKSTERN FORDELING**
**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		HFK	14		FFI-Bibl
1		v/Oblt Øivind Sjuls	1		Adm direktør/stabssjef
1		SFK	1		FFIE
1		v/Kom.kap Tom Egil Lillevedt	1		FFISYS
1		LFK	1		FFIBM
1		v/Oblt Olav Aarnes	1		Svein Martini, FFIBM
1		INFINSP	1		Rune Lausund, FFIBM
1		SVI	1		Tale S. Solberg, FFIBM
1		v/Maj Dan Axel Stengel			

FFI-K1 Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.

