

RIKSHOSPITALET

Medisinsk teknisk avdeling

24.10.1983

cand.real. Øystein Jensen, siv.ing. Sverre Grimnes

**ELEKTROSTATISKE EGENSKAPER
I NOEN POLYESTER/BOMULL TEKSTILER
I HVITE UNIFORMSFRAKKER**

Sammendrag

Uniformtekstilens betydning for elektrostatisk oppladning under bruk er undersøkt i standardiserte prøvesituasjoner. 6 komplette sett prøvefrakker med ulik fibermengde (polyester/bomull) og veving (se tabell 2.1.1) og 6 forsøkspersoner er undersøkt over et års variasjon av luftens relative fuktighet.

En analyse av elektrostatiske forhold og målemetoder er presentert. Tekstilenes elektriske ledningsegenskaper (resistans) er målt med en DIN-normert ringformet måleelektrode. Oppladning av forsøkspersonene (personspenningen) i reise og gåprøver er målt med en ladningsoverføringsmetode. Utladning gjennom sko og gulv og virkning av "anti-statisk" sko/gulv er ikke systematisk undersøkt.

Reiseprøvene er foretatt fra en ull/viskose overflate (kontorstoltrekk). Målte maksimalspenninger varierer sterkt for de forskjellige frakkene (528 V-3553 V).

Gåprøvene (reising og 120 skritt i 1 min. på vinylgulv) avslører at skotøyet spiller en avgjørende rolle for oppladning.

Maksimalt gåspenninger varierer mellom 3553 V og 38360 V. I en spesiell måleserie er det vist at personspenninger på ca. 30 000 V kan reduseres til ca. 700 V bare ved bytte av sko (begge par av "vanlig" personlig type).

Personspenninger < 2000 V er normalt ikke plagsomme ved utladning og er akseptable også fra et sikkerhetssynspunkt m.h.t. mulig gnistantennelse av vanlig forekommende laboratoriegasser (0,2 mJ minste antennesverdi, gjelder ikke hydrogen og acetylene). De undersøkte frakkene som gir oppladningsspenninger og oppladningsenergier større enn hhv. 2000 V og 0,2 mJ ved reising, er nr. 4 (den nå brukte 65/35 blandingsfrakk) og nr.1 og nr. 5 (begge 50/50 frakker i ulik veving).

Den entydig beste frakken (lavest personspenning og tilsvarende oppladningsenergi ved reising) er den rene bomullsfrakken (nr. 2). De to 50/50 blandingsfrakkene nr. 3 og nr. 6 gir middels stor oppladning (midt i mellom ren bomull og de nå brukte 65/35 frakkene).

Det er altså avgjørende forskjeller i oppladningstendens mellom alle de ulike 50/50 frakkene, tydeligvis pga. forskjeller i veving, fiberfordeling og kjemisk behandling.

En spesiell "anti-statisk" frakk (nr. 7) med metalltrådsinnveving er undersøkt og virker lovende, men det foreligger ikke nok data til at denne kan rangeres blant de andre.

Undersøkelsen viser at tekstiltypen som brukes under frakk (undertøy, skjorte etc.) spiller ganske liten rolle for elektrostatisk oppladning når dette tøyet er relativt tettsittende. Det viktigste er hva slags tekstil som ligger ut mot omgivelsene.

Problemer med elektrostatisk oppladning vil reduseres med høy relativ luftfuktighet (befuktning, lav romtemperatur), uniformstøy med stor bomullsandel utover, godt ledende sko (evnt. "anti-statisk" sko og "anti-statisk", halvledende gulvbelegg).

SUMMARY

Øystein Jensen (M. Sc.), Sverre Grimnes (M. Sc)
Rikshospitalet, National Hospital of Norway 1983

"ELECTROSTATIC PROPERTIES OF SOME POLYESTER/COTTON HOSPITAL UNIFORM GARMENTS"

The electrostatic charging of test subjects wearing various test garments has been studied. Six garments with various polyester/cotton fiber contents and homogeneities (presented in table 2.1.1.) have been tested with six female test subjects during a year's variation of relative humidity in the air.

An analysis of static electricity and measuring methods is presented. The electrical conduction properties of the textile materials (resistance) have been measured with a DIN-specified, concentric-ring electrode. The electrostatic charging of the test subject (body voltage) in standard rise and walk-tests has been measured with an electrometer charge-transfer method.

The discharge of the test subject through shoes and floor covering, and the effect of "anti-static" shoes/floor covering have not been systematically evaluated.

The rise-tests have been done with a wool/viscose seat cover. Measured max. body voltage varies considerably among the garments (528 V-3553 V). The walk-tests (rising from seat cover, 120 steps in 1 min on vinyl floor covering.) show that the subject's shoes can have a dominant effect on the resultant charging. Max. body voltage during walk-tests varies between 3553 V and 38360 V. In a specific test series a max. body voltage of some 30 000 V has been reduced to about 700 V, only by changing the test subject's shoes (both pairs of "normal", personal type).

Body voltages < 2000 V is normally not troublesome for test subjects and concerning spark discharge, they are acceptable from a safety point of view (0.2 mJ lowest necessary ignition energy for several common laboratory gases, except hydrogen and acetylene). The evaluated garments that during rise-tests exceed max. body voltage /corresponding charged energy limits of 2000 V/0.2 mJ respectively, are no. 4 (now used 65/35 mixture of polyester/cotton) and no. 1 and no. 5 (both 50/50 mixtures with different homogeneity).

The indisputably "best" garment (lowest body voltage and corresponding charged energy during rise-test) is the pure cotton garment (no. 2). The two 50/50 garments no. 3 and no. 6 have a rating between the pure cotton garment and the now used 65/35 garment (no. 4).

There are obvious differences in charging properties among the 50/50 garments, probably because of differences in weaving, fiber homogeneity and chemical treatment. A special "anti-static" garment with 1% steel fiber content has been tested and seems promising. However, too few measurements have been done on this garment to rate it among the other garments.

This study shows that the kind of fabric that is carried beneath the outer garment (underwear, shirt etc.) is of no appreciable importance for the charging of test subjects if

it is snugly fitting around the body. The most important factor is the fabric that is carried as the surface layer. Problematic electrostatic charging will be reduced if the relative humidity in the environment is increased, if garments with a high content of cotton in the outer surface is used, and if better conducting shoes/floor coverings (or "anti-static" shoes/floor coverings) are used.

1. INTRODUKSJON

1.1 Innledning og definisjon av prosjektet

Formålet med denne undersøkelsen er å sammenligne ulike uniformstekstilers betydning for elektrostatisk oppladning under bruk.

Det konkrete utgangspunkt for start av arbeidet var en henvendelse fra Vernetjenesten ved Rikshospitalet som stadig mottok klager fra personalet etter at hospitalets gamle uniformstøy (100% bomull) ble skiftet ut og erstattet med tøy i polyester/bomull i blanding 65%/35% (NS 3341, frakk nr. 4 i tabell 2.1.1). Utskiiftingen har pågått i tidsrommet 1979-83 (ennå ikke avsluttet) og omfatter uniformstøy for ca. 2300 ansatte til en gjenanskaffelsesverdi av ca. 2.3 mill. kroner. Anførte klager har vært på øket elektrostatisk oppladning i forhold til de gamle frakkene (elektriske støt, avansert klinisk kjemisk analyseutstyr settes ut av drift ved berøring, merker på røntgenfilm ved berøring, frakkene "kleber") og dårlig brukskomfort (frakkene er varme og klamme, og svette sitter i selv etter vask).

Brukernes subjektive oppfatning av uniformene berører en rekke arbeidsfysiologiske og psykologiske faktorer som det er meget vanskelig å analysere fullstendig. Fysisk målbare elektriske materialegenskaper i frakketekstilene (elektrisk

resistans, statisk elektrisk oppladningsevne) gir sammen med målbare klimafaktorer som temperatur og relativ fuktighet imidlertid endel viktige indikasjoner på uniformenes bruksegenskaper, og omfattes av denne foreliggende rapporten. Brukernes subjektive oppfatning av bruksegenskapene til de uniformene som her er undersøkt presenteres i en egen delrapport i Vernetjenestens regi.

Et litteraturstudium viser at det foreligger rapporter med motstridende oppfatninger når det gjelder elektrostatiske oppladningsforhold for blandingstekstiler. Endel rapporter bærer også preg av å være skrevet av forfattere som er knyttet til produsentene av blandingstekstiler.

Vi har i denne rapporten undersøkt noen ulike uniformstekstilers betydning for elektrostatisk oppladning under bruk. Uniformstekstilenes elektriske ledningsegenskaper som funksjon av inneluftens relative fuktighet er undersøkt i en egen prøverekke. Elektrostatisk oppladning av forsøkspersoner iført de forskjellige prøveuniformene er undersøkt i reise/gå-prøver som kan simulere faktiske arbeidsintuasjoner.

1.2 Statisk elektrisitet og tekstilfibre

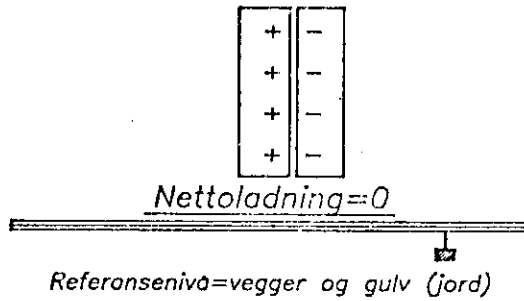
Statisk elektrisk ladning (egentlig ladnings-fordeling) oppstår i overflaten av et materiale når det er i kontakt med stykker av samme eller andre materialer. Ved separasjon

av de berørte flatene skjer det en ladningsutveksling avhengig av overflatenes glatthet og molekylære/atomære forhold i materialene (i hovedsak elektronoverskudd/underskudd = hhv negativ/positiv elektrisk ladning), se fig. 1.1.

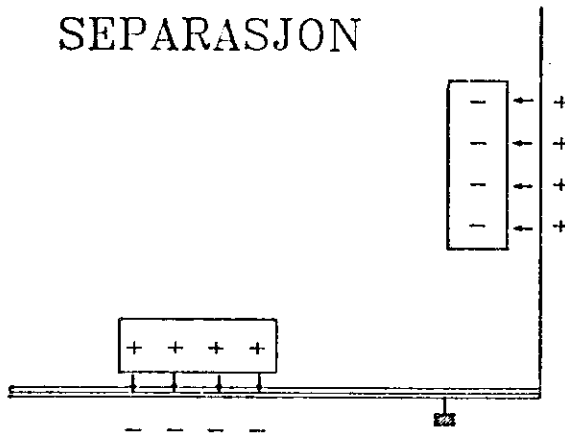
Avhengig av om materialet selv og kontakten med omgivelsene er godt eller dårlig elektrisk ledende, skjer det etter separasjon av flatene en mer eller mindre hurtig omfordeling av ladningsoverskuddet. Utladning av ladningsoverskuddet skjer ved ladningstransport (strøm) innen materialet selv, og mellom materialet og omgivelsene til ny likevekt oppnås (det induerte elektriske feltet driver ladningsbærerne mot null-likevekt). Denne utladningsprosessen kan vare fra brøkdelen av et sekund til timer. Et langsomt utladningsforløp gjør at den genererte elektriske ladning oppleves som "varig" og materialet omtales som "statisk ladet". Materialer med utladningstid <1s blir normalt regnet som ikke-statiske ("anti-statiske"). Utladningstiden bestemmes av tekstilets elektriske ledningsevne og kapasitansen i forhold til omgivelsene. Høy ledningsevne og lav kapasitans er gunstig. I Appendiks 1 og 4 er det gitt en nærmere omtale av de elektriske parametre som karakteriserer elektrostatiske ladning og tekstiler.

Det er altså to forhold som er avgjørende for om et materiale oppleves som statisk elektrisk; oppladnings- og utladningsevnen.

MATERIALKONTAKT



SEPARASJON



Indusert ladningsfordeling gir et elektrisk felt

Fig. 1.1 Statisk elektrisk oppladning. I overflatene av materialer i kontakt skjer en ladningsfordeling som antydnet øverst. Ved separasjon av flatene skilles ladningene, og elektriske felt mot omgivelsene oppstår, materialet er "statisk elektrisk ladet".

Ulike materialers evne til elektrostatisk oppladning uttrykkes i empiriske triboelektriske serier (av gresk tribein = å gni). En slik serie av aktuelle materialer (omarbeidet etter Borrevik, 1980) er:

⊕

Glass

Menneskehår (Keratin, hud?)

Nylon

Ull

Natursilke

Viskose (Regenerert cellulose)

Bomull

Papir

Bastfiber

Stål

Hardgummi

Acetatsilke

Syntetisk gummi

Dacron (Polyester)

Orlon (Akryl)

Saran

Polyetylen

⊖

Det er verdt å merke seg at mer eller mindre like tekstilfibre kan omtales og merkes med svært ulike handelsnavn. Fra Varefaktakomiteens Fiberleksikon kan følgende klassifikasjon av fibertyper settes opp:

NATURFIBRE

| | | |
|-------------|------------|--------------|
| PLANTEFIBRE | DYREFIBRE | MINERALFIBRE |
| BOMULL | NATURSILKE | ASBEST |
| LIN | ULL | METALLTRÅD |
| HAMP | ANGORA | |
| JUTE | MOHAIR | |

KUNSTFIBRE

| | |
|-------------|------------|
| REGENERERTE | SYNTETISKE |
| VISKOSE | NYLON |
| ACETAT | POLYESTER |
| | AKRYL |

Oppladningstendensen blir størst mellom to materialer langt fra hverandre på den triboelektriske skalaen og minst for to stykker av samme materiale mot hverandre. Det er ikke nødvendig at materialene gnis mot hverandre for at statisk ladning opptrer ved separasjon.

Wilson (1977) refererer eksperimenter som i store trekk bekrefter den triboelektriske rekken ved separasjon av tekstilmaterialer. Tilsvarende eksperimenter med gnidning gjør ikke det. Det er i litteraturen framsatt teorier om at oppladningen er avhengig av materialenes dielektrisitetskonstant (dielektrisitetskonstant = spesiell materialkonstant som beskriver gjennomtrengelighet for elektriske felt). Der to materialer møter hverandre, blir dét med høyest dielektrisitetskonstant positivt ladet. Dielektrisitetskonstanter for endel fibre og tekstiler er oppført i bl.a WIRA Textile Data Book (1973). Dielektrisitetskonstantene for tekstiler er sterkt avhengig av fibrenes fuktighetsinnhold og temperatur og tekstilets vevning. Det er ved normale fuktigheter ingen entydig sammenheng mellom de oppgitte dielektrisitetskonstantene fra WIRA og den triboelektriske rekken foran.

Det er framsatt ulike teorier om de elektriske ledningsmekanismene i tekstilfibre.

Baxter (1943) har gjort eksperimenter med ullfibre som tyder på at ledningsevnen i fiberet i stor grad skyldes elektroniske, halvledende effekter ved bindingen av vannmolekyler til proteinsubstanser.

I følge Henry (1953, 1973) og Wilson (1977) er de elektriske ledningsmekanismene forskjellige i de hydrofile fibre (naturfibre og nylon) og de hydrofobe fibre (andre kunstfibre); henholdsvis volumledning og overflateledning av ionestrøm eller elektronstrøm. Fiberets fuktighetsinnhold

påvirker både antall ioner og deres bevegelighet (f.eks. ved dissosiasjon av saltene KCl og NaCl), og fiberets ohmske ledning av elektronstrøm.

Det er i litteraturen dokumentert eksperimentelt en logaritmisk sammenheng mellom fibrenes elektriske resistans og fuktighetsinnholdet (dvs. den omgivende luftens relative fuktighet i likevekt med fibrene). I visse tilfeller varierer resistansen med mer enn en faktor 1000 når luftens relative fuktighet endres fra 20% til 60% (se også avsnitt 1.4 om relativ fuktighet og avsnitt 3.1 om målte elektriske ledningsegenskaper).

En høy relativ fuktighet øker altså fiberets elektriske ledningsevne og påskynder utladning av genererte ladninger. Ledningsevnen øker også med forurensninger (smuss). Den elektriske ledningsevnen er ved normal luftfuktighet dårligere i kunstfibre enn i naturfibre. Det er ikke kjent for forfatterne hvilken tidskonstant ulike fibre har for absorpsjon eller avgivelse av fuktighet, dvs. hvor hurtig endringer i luftens relative fuktighet virker inn på tekstilets elektriske ledningsevne. Ved prøvene beskrevet i kapittel 2 har vi i tråd med andre forfatteres valg av metode antatt at 24 timers akklimatisering i målelaboratoriets luft er tilstrekkelig.

Det er ved tekstilproduksjon vanlig å behandle bomullsfibre med harpiks for å gjøre overflaten glatt og stabil. Mengden av fri harpiks avtar etterhvert som tekstilet vaskes, og

dette påvirker den elektriske ledningsevnen (som avtar). (Forøvrig avgir den frie harpiks formalindamp som kan føre til allergiske problemer hos brukere med tekstilet i nær kontakt med hud).

I blandingstekstiler er det kjent at bomullsmengden etterhvert avtar på grunn av slitasje og vask. Den elektriske ledningsevnen avtar dermed i velbrukte blandingstekstiler.

Et tekstil med lave resistansverdier (god elektrisk ledningsevne) kan omtales som "bedre" enn et med høye resistansverdier, og visse tekstiler med spesielt lave resistansverdier kan omtales som "anti-statiske".

Tekstilers ledningsevne kan økes ved tilsetning av såkalte "anti-statiske" skyllemidler (mykgjøringsmidler) etter vask. Økningen i ledningsevnen skyldes at disse etterlater metallioner og salter i fibrenes overflate.

1.3 Elektrostatisk ladning under bruk

Mennesker i bevegelse vil i alle dagligdagse situasjoner opplades elektrostatisk. Det er velkjent at det vinterstid, og spesielt på teppegulv, lett oppstår elektrostatisk oppladning som ved kontaktutladning kan gi kraftige "støt". Ved all kontakt mellom ulike bekledningstekstiler, mellom bekledningstekstilene og omgivelsene, og mellom skotøy og gulv oppstår elektrostatiske ladninger. Oppladningen

avgjøres av type bekledning (type fiber, veving og antall lag), type bevegelse (gnidning på stolsete gir høy oppladning), type skotøy og type gulvbelegg, luftens relative fuktighet, personenes aktivitetsnivå og metabolisme (svetting, hudresistans) etc.

Sammenlignet med bekledningstekstilene er kroppen en meget god leder som ved elektrostatisk oppladning inntar samme spenning over hele flaten, i denne rapporten omtalt som personspenning. Tilsvarende gjelder også for omgivelsesrommet, den elektriske ledningsevnen til bygningens materialer (armeringsjern, elektriske installasjoner, betong) er normalt så god at hele omgivelsesrommet kan antas å være elektrisk sammenknyttet til samme nivå, jordreferanse ("jord"). Den resulterende personspenning ved oppladning har en sammenheng med personens kapasitans i forhold til jordreferansen (kalt personkapasitans). Den tilgjengelige energi ved utladning er avhengig av personkapasitansen og sterkt avhengig av oppladet personspenning. En nærmere beskrivelse av disse elektriske begrepene er gitt i Appendiks 1 og 4.

Jonassen (1972) viser til statistiske undersøkelser der det påvises at personspenninger under 1000 V av få mennesker vil oppleves som ubehagelig ved utladning. Personspenninger mellom 1000 V og 2000 V oppleves av mange som ubehagelig, og over 3000 V opplever de fleste utladningen som ubehagelig. Utladningsenergien overstiger lett 1 mJ (millijoule). Dette kan ved gnistutladning være tilstrekkelig til å antenne

visse gassblandinger (0,2 mJ er i litteraturen fremsatt som mulig faregrense for eksplosjon i vanlig forekommende gasser i sykehusmiljø, se også Appendiks 5).

Gjennomslagsfeltstyrken for luft er ca. $3 \cdot 10^6$ V/m. Ved personspenninger på 3000 V kan gnister slå over ved ca. 1 mm avstand mellom kropp (normalt hånd) og omgivelse (jord).

Den elektriske utladningen er ellers i seg selv normalt ikke farlig for mennesker, men ubevisste refleksbevegelser kan medføre indirekte fare.

Gnidning av ulike bekledningstekstiler som en person har på seg fører til lokale oppladninger mellom disse, avhengig av materialenes plass i den triboelektriske rekken og overflatenes beskaffenhet. Hvis personen er isolert av flere lag tekstiler vil nettoeffekten av oppladningen likevel være liten i forhold til et ytre jordpunkt fordi ladningene befinner seg nær hverandre (positiv og negativ ladning i tekstillagene opphever hverandre). Eventuelle personspenninger som kan måles mellom person og omgivelse ved gnidning av flere lag tekstiler er kortvarige virkninger av ladningsomfordelinger i tekstilene. Hvis en person under en slik gnidning derimot tar av seg noe av tøyet (frakken), ender kroppen med stor nettoladning i forhold til omgivelsene. Personen lades altså opp i forhold til omgivelsene først idet frakken separeres fra kroppen, og gnister kan da oppstå. Denne type lokal oppladning vil være

større jo lengere fra hverandre på den triboelektriske rekken tekstilene befinner seg.

Tekstiler med inhomogen fiberfordeling (f. eks. bomull innover, polyester utover) vil ha en annen oppladningsevne enn tekstiler med homogen fiberfordeling, avhengig av hvilke deler som to og to gnis mot hverandre, og hvor hvert gnidningspar befinner seg på den triboelektriske rekken.

Syntetiske materialer i skotøy og gulvbelegg gir ved bevegelse opp- og utladninger med et annet forløp enn gnidning av tekstiler. Ved hvert skritt flyttes skosålen til nye områder, ladning "pumpes" kontinuerlig inn og personspenningen stiger for hvert skritt. Utladning foregår oftest meget langsomt på grunn av skosålenes gode isolerende evne. Oppladningsspenningen for en gitt kombinasjon av sko og gulvbelegg er m.a.o. direkte proporsjonal med antall skritt som tas før utladning. Betydningen av gulvbelegg og skotøy for elektrostatiske oppladningsprosesser er velkjent i forbindelse med operasjonsstuer og brennbare anestesigasser (se litteraturlister i bl.a. Bureau of Mines, 1952; SPRI, 1972). I slike sammenhenger anvendes elektrisk halvledende gulvbelegg og sko med elektrisk ledende såler for å gi hurtig utladning av genererte personspenninger, (se også Appendiks 4).

Et legeme påvirkes av mekaniske krefter når det befinner seg i et inhomogent elektrisk felt (alle elektriske felter er mer eller mindre inhomogene). Eksempeler på

gnidningsoppladning og mekaniske krefter er skjørt som "kleber" seg til strømpebukser eller "kryper oppover" ved bevegelse, og støv eller smusspartikler som tiltrekkes tekstiler og personer med stor oppladning i forhold til omgivelsene.

Det er ikke kjent om sterk elektrostatisk oppladning av personer fører til økte astma/allergi plager.

1.4 Luftens relative fuktighet

Omgivelsesluftens vanndampinnhold er av avgjørende betydning i alle sammenhenger der elektrisk isolerende materialers egenskaper undersøkes. Luftens innhold av vanndamp angis vanligvis som luftens relative fuktighet, RF (engelsk: relative humidity, RH) i %.

Luftens maksimale innhold av vanndamp (metningskurven) er avhengig av temperaturen som beskrevet i Appendiks 2. Luftens relative fuktighet ved en gitt temperatur er definert som det prosentvise forholdet mellom luftens faktiske vanndamptrykk og luftens maksimalt mulige vanndamptrykk (fra metningskurven) ved den temperatur luften har.

For eksempel er luftens metningstrykk 15,5 mmHg ved +18°C (det betyr at ved normalt lufttrykk, 760 mmHg, kan ca. 1/50 av luftens molekyler være vannmolekyler). Hvis luftens faktiske vanndamptrykk ved +18°C bare er 4,6 mmHg er

luftens relative fuktighet 30% (avrundet). Måling av relativ fuktighet er nærmere beskrevet i Appendiks 2. Ved lave vintertemperaturer vil uteluftens absolutte vanndampinnhold være lavt. (Likevel kan uteluftens relative fuktighet være høy !). Ved oppvarming av uteluften til innetemperatur uten tilsetning av vanndamp i ventilasjonsanlegget (befuktning) vil derfor luftens relative fuktighet falle betraktelig. Fra tabellen i Appendiks 2 ser vi at for eksempel vil oppvarming av 100% mett uteluft fra -10°C til $+20^{\circ}\text{C}$ medføre at den varme inneluftens relative fuktighet bare blir 11% (1,95 mmHg vanndamptrykk mot mulig 17,5 mmHg).

Ved Rikshospitalet er det for tiden bare i meget liten utstrekning montert ventilasjonsanlegg som gjør det mulig å fukte luften (bygningene ØNH, Patologi og Bakteriologisk institutt). I praksis er det ofte problemer ved innstilling av befuktningssystemer fordi man prøver å befukte rom med store temperaturgradienter. Høy relativ fuktighet vil vinterstid i ytre rom (med vinduer) lett kunne gi kondens og følgende fuktighetsskader og eventuelt mulig bakterievekst. I ventilasjonsanlegg som har styrt befuktning er det derfor ikke vanlig å stille settpunktet høyere enn 35-40% RF. Tradisjonelt har relativ fuktighet på ca. 50% vært ansett som komfortabelt. Nyere undersøkelser (bl.a. Fanger, 1971) indikerer derimot et lavere optimalt komfortnivå på ca. 40% RF. Forøvrig viser Fangers statistiske undersøkelse av et stort antall forsøkspersoner og mange komfortparametre at

det til enhver tid er minst 5% av de spurte forsøkspersoner som føler seg ukomfortable uansett hvilken fuktighet, temperatur, etc. som foreligger. Det eksisterer altså sannsynligvis en biologisk variasjonsbredde som ytterligere vanskeliggjør "riktig" innstilling av ventilasjonsanlegg. I Direktoratet for Arbeidstilsynets utkast til rapport om komfortabelt arbeidsklima (Vatne, 1983) spesifiseres ikke grenser for akseptabel relativ fuktighet på arbeidsplasser, men det påpekes generelt at plager med tørr luft (uttørring av slimhinner, elektrostatiske plager som kontaktutladning og tiltrekning av støv) hyppigst forekommer ved 10-15% RF. I den refererte rapporten karakteriseres dette som "svært lav relativ fuktighet".

Det er vanskelig på forhånd å vurdere virkningen av vasking og andre fuktavgivende prosesser da ventilasjonsanleggets data virker sterkt inn. Virkningen av slik tilfeldig befuktning er ved lav basis-RF ikke nødvendigvis bare kortvarig. Ved svært lav relativ fuktighet kan det ofte også registreres virkning av den fuktighet mennesker i rommet avgir, men dette fører neppe til mer enn 5 %-enheter bidrag i RF. For å anslå hvilken minimum relativ fuktighet som er typisk innendørs i løpet av året er det fra Meteorologisk Institutts Klimaavdeling innhentet data om uteluftens vanndamptrykk i Oslo gjennom året.

Spredte stikkprøver på ulike Rikshospitalsavdelinger har vist at innetemperaturen vinterstid varierer merkbart fra ca. $+21^{\circ}\text{C}$ (Tøysentralen) til ca. $+26^{\circ}\text{C}$ (Prematuravdelingen, Barneklubben) se tabell 1.1.1. $+22^{\circ}\text{C}$ kan antas som typisk gjennomsnittsverdi for hospitalet som helhet. Meteorologisk Institutt's fuktighetsdata er ved hjelp av metningskurven i Appendix 2 regnet om til relativ fuktighet ved innetemperaturene $+22^{\circ}\text{C}$ og $+26^{\circ}\text{C}$, forutsatt at luften ikke befuktes under oppvarmingen. Den beregnede årsvariasjonen i månedsmiddeler verdier er presentert i fig. 1.2.

De fullstendige tabellene fra Meteorologisk Institutt (ikke gjengitt her) viser at det er betydelige fluktuasjoner fra dag til dag i vanndamptrykket (ofte 10% RF eller mer omregnet til $+22^{\circ}\text{C}$ inneluft).

I den tørre perioden vinterstid (desember til mars) er det likevel bare i få tilfeller at den relative fuktigheten er lavere enn 15% i en hel uke. Enkelte kalde dager kan minimum relativ fuktighet i den oppvarmete inneluften være så lav som 5%.

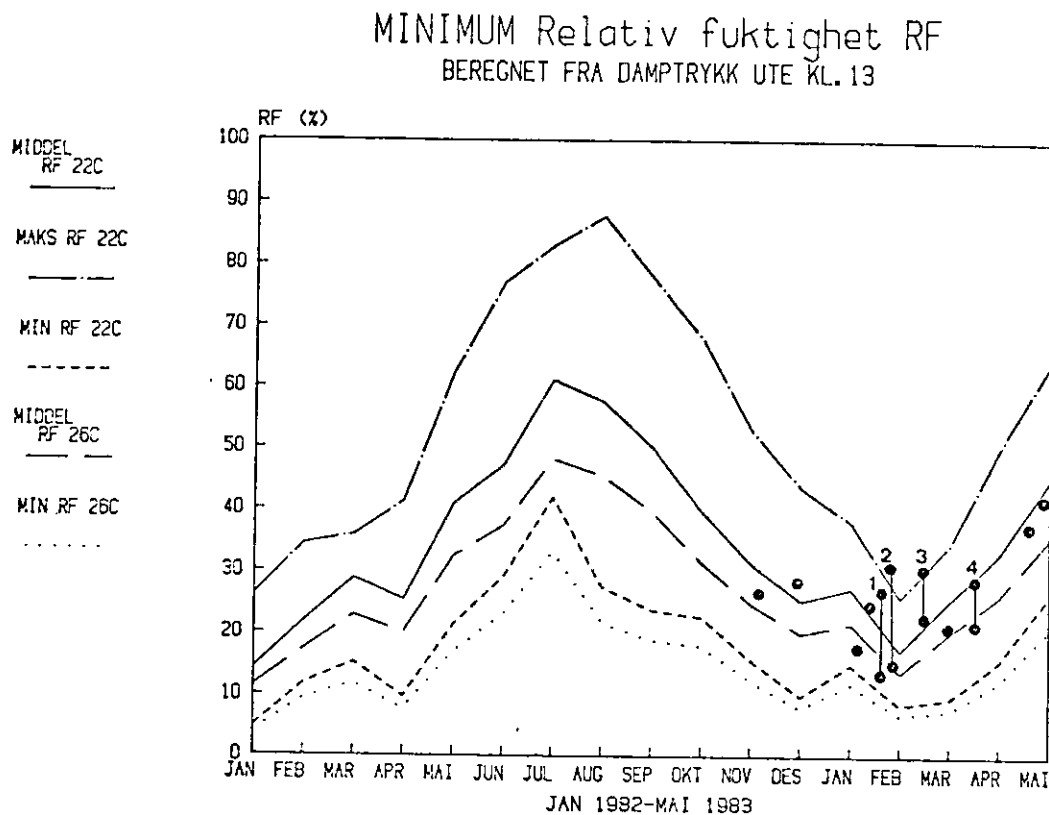


Fig. 1.2 Figuren viser årsvariasjonen for Oslo i beregnet minimum relativ fuktighet i oppvarmet inneluft ved $+22^{\circ}\text{C}$ og 26°C . Verdiene for hver måned er beregnet fra Meteorologisk Instituttets data over uteluftens vanndamptrykk på Blindern kl. 13 daglig, og regnet om til relativ fuktighet via metningskurven i Appendiks 2. Det er forutsatt at luften ikke tilsettes fuktighet under oppvarming. Kurvene Maks. og Min. angir RF basert på damptrykkdata middelerverdi for måneden \pm henholdsvis 1SD (SD = Standard Deviation). Egne målinger av RF ved forskjellige tidspunkter og steder er for sammenligning plottet inn (markert med \bullet). Spesielt er måleseriene oppgitt i tabell 1.1.1 nummerert i figuren. Maks. og min. verdier for seriene er angitt med de vertikale strekene som forbinder ytterpunktene.

Tabell 1.1.1 Målt relativ fuktighet (RF%) og romtemperatur (TOC)
i ulike avdelinger ved Rikshospitalet (målt mellom kl. 12 og 14).

| Sted | Serie 1 | | Serie 2 | | Serie 3 | | Serie 4 | |
|---------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | T(°C) | RF (%) | T(°C) | RF (%) | T(°C) | RF (%) | T(°C) | RF (%) |
| Postop. rom 314 | 23,4 | 20 | 22,4 | 27 | 22,6 | 26 | 22,6 | 26 |
| Kir.A, 1-post | 22,0 | 23 | 24,2 | 31 | 23,4 | 30 | 23,4 | 30 |
| Kir.A, op.gang | 24,2 | 29 | 25,0 | 17 | | | | |
| Prematur, BK | 25,9 | 29 | 26,0 | 30 | | | | |
| Klin.kjemisk, "PRISMA" | 23,2 | 13 | 25,2 | 19 | 22,3 | 24 | 22,3 | 24 |
| Røntgen, "CT" | 22,6 | 26 | 21,2 | 28 | | | | |
| Lungeavd. 4.et. | 23,2 | 19 | 22,2 | 24 | | | | |
| Med.tekn.avd. | 22,0 | 13 | 20,6 | 15 | | | | |
| Dialyseavd. 6.et. | | | | | 24,0 | 23 | | |
| Tøysentralen "Grønn sone" | | | | | | | 20,9 | 29 |
| Tøysentralen "Systue" | | | | | | | 22,0 | 26 |
| Tøysentralen "Merkekrok" | | | | | | | 21,0 | 22 |

Det viser seg at indre RF i bygningene svært godt følger midlere RF i oppvarmet uteluft. I den tørreste perioden i februar-mars 1983 er bidraget fra mennesker og vaskeprosesser størst ved lavest relativ fuktighet (måleseriene 2 og 3 er forskjøvet mot høyere målt RF enn beregnet minimum). Det er stor variasjon mellom ulike avdelinger. Høyest relativ fuktighet har Operasjonsseksjonen, Kir.A og Prematuravdelingen, BK. På disse steder skjer det utslipp av damp fra hhv. sterilisator og befuktningsanlegg i tillegg til hyppig vasking.

Måleverdiene fra Klinisk kjemisk avdelings "PRISMA"-rom (analysemaskin) og Medisinsk teknisk avdeling skiller seg ut ved å være spesielt lave.

Målingene fra Tøysentralen (serie 4 i tabell 1.1.1) viser at den relative fuktighet faller proporsjonalt med avstanden fra det lokale damputslipp ved vasking av vogner.

Det er viktig å bemerke den påvirkning inneluftens temperatur har på den relative fuktighet hvis luftens absolute vandampinnhold i seg selv er konstant. Hvis oppvarmet inneluft med temperatur $+22^{\circ}\text{C}$ og 20% RF avkjøles 2°C til $+20^{\circ}\text{C}$, stiger luftens relative fuktighet til 23%. I prinsippet kan altså lav RF forhøyes noe ved at inneluftens temperatur settes ned. Dette er også påpekt i Direktoratet for Arbeidstilsynets rapport.

Av betydning for valg av metode (kap. 2) har vi valgt å karakterisere "tørr luft" med 15% RF og "komfortabel luft" med 40% RF.

Den DIN-normerte metoden for måling av tekstilers resistansparametre (se Appendiks 1 og 3) definerer ved hjelp av et klimarom en normalomgivelse til +20°C og 30% RF.

Med utgangspunkt i fig. 1.2 synes denne RF-verdien å være et rimelig bra gjennomsnitt av forventet RF over året.

Forøvrig er DIN noe uklar på dette punktet, idet en revidert nyere utgave av DIN 54345 spesifiserer normal RF til bare 25%.

2. METODE

2.1 Generelt

Det eksisterer ikke entydige, standardiserte metoder for måling av tekstile materialers elektrostatiske egenskaper. Ulike forfattere opererer med spesielle metoder og oppgir ofte resultatene i ulike eller lite hensiktsmessige måleenheter. De anvendte metoder i denne undersøkelsen er tillempninger valgt ut i fra vår konkrete problemstilling. Det har vært av største interesse å måle parametre som trolig best karakteriserer frakkene under praktisk bruk.

Vi hadde på forhånd en anelse om at resistansmålingene av frakkene alene ikke ville karakterisere de elektrostatiske egenskaper på en fullgod måte. Resistansmålingene ble derfor komplettert med standardiserte reise- og gåprøver. Hva vi ikke var klar over på forhånd var skotøyets ofte avgjørende innflytelse på resultatet av gåprøvene. Noen systematisk undersøkelse av sko/gulv ble det derfor ikke lagt opp til. Som det går fram av rapportens tittel omfatter denne rapporten bare en undersøkelse av frakkenes betydning for elektrostatisk oppladning. En fullstendig kartlegging av den elektrostatiske situasjon på en arbeidsplass krever ytterligere undersøkelser.

Undersøkelsen er gjennomført ved at 6 kvinnelige forsøkspersoner har gjennomført oppladningsprøver i en standardisert målesituasjon i Medisinsk teknisk avdelings laboratorium. Prøvene er blitt gjort med 6 ulike uniformsfrakker (se tabell 2.1.1), og er gjennomført over et helt år slik at målingene spenner over et bredt spektrum av relative fuktighetsverdier.

Prøvefrakkene har hatt ulik polyester/bomulls-blanding og ulike vevinger (tilfeldig valgt fra ulike fabrikanter). Forsøkspersonene har i løpet av året i tilfeldig rekkefølge fått utlevert frakkesettene (8 eksemplarer av hver frakketype) og brukt disse som de vanligvis gjør (en frakk per dag). Til varierende tidspunkter på tilfeldige dager har de gjennomført oppladningsprøvene. Med begrepet "frakk nr." refereres det i det følgende derfor til frakkesettets nummer.

På et sent tidspunkt er også en spesiell frakk med metalltrådsinnveving undersøkt (nr. 7 i tabell 2.1.1). Denne frakken har ørsmå, ikke synlige metalltråder (0,2 mm lange ståltråder) tvunnet rundt vevtrådene i ca. 0,1 mm avstand.

Undersøkelsen har vært foretatt "blindt" for alle andre enn Tøyforvalter helt til alle målinger var avsluttet (ingen andre har kjent frakkenes faktiske fiberinnhold).

Tabell 2.1.1.1 UNDERSØKTE UNIFORMSFRAKKER

Data basert på opplysninger fra leverandørene.

| Frakk nr. | Fiberinnhold (poly/bom) ¹ vekt % ut inn | Kommentar ² | Type | Tekstil | Produsent | Leverandør | | |
|-----------|---|------------------------|-------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 50/50 | 65/35 | 25/75 | Spes. for behagelig innside | COMFORTISS | Lauffenmühle (FRG) | K. Borch (DK) | Samsing A/S |
| 2 | 0/100 | - | - | Ren bomull | ELLA-8 NS 3354 | Norion fabrikker A/S (N) | Odex A/S (N) | S.W. Monsen A/S |
| 3 | 50/50 | - | - | VAPOR PHASE | | Klopman (USA) | Trivab (S) | Samsing A/S |
| 4 | 65/35 | - | - | RH kjøpt 1979-83 | NS 3341 | Klopman (USA) | H. Schjøtt A/S (N) | S.W. Monsen A/S |
| 5 | 50/50 | - | - | CROSSOVER | | Klopman (USA) | H. Schjøtt A/S (N) | S.W. Monsen A/S |
| 6 | 50/50 | 65/35 | 27/73 | Innerside rubbet | SUPERSOFT | Grenå Dampveveri (DK) | A/S Jyden (DK) | Eliscan Konf. A/S |
| 7 | 65/34 + 1% metalltråd | - | - | "Anti-statisk" | ELI RIEGELSTAT | Riegel (USA) | Odex A/S (N) | Torgersen Tekstil |

Merknad: 1 Frakk nr. 1 har en meget spesiell oppbygning av fibre, både homogent blandet poly/bom (hovedsakelig utover) og bomullstvunnet polyesterkjerne (hovedsakelig innover).
De anførte UT og INN- verdier er omtrentlige.

2 Harpikstilsetningen (som alle frakker har) er for frakk nr. 3 gjort i en spesiell dampblanding (derav navnet).
Bindingen av harpiks oppgis å være bedre med denne metoden.

Prøvefrakkene er imellom hvert forsøk vasket som annet uniformstøy, frakk nr. 2 som bomull, og de andre som polyester/bomull (dette var kjent bare for Tøyforvalter og vaskeri). Den normale vaskeprosessen er Lilleborg "Biolivett" forvask, "PC-100" hovedvask ved 85°C, ingen mykgjøringsmidler (dvs. ingen "anti-statiske" skyllemidler). Frakkene av blandingstekstiler nedkjøles gradvis til romtemperatur etter vask.

For å simulere faktiske brukssituasjoner er det i utgangspunktet ikke gjort forsøk på å standardisere forsøkspersonenes skotøy og undertøy. Forsøkspersonene har blitt bedt om å bemerke det om denne bekledningen er endret underveis.

Frakkenes elektriske resistansparametre (se Appendiks 1 og 3) er målt i en egen måleserie. Luftens relative fuktighet er som påpekt i avsnitt 1.2 av avgjørende betydning ved resistansmålingene. Da et kontrollert klimarom ikke har vært tilgjengelig har undersøkelsene vært gjennomført slik at de naturlige variasjoner av luftens relative fuktighet er utnyttet (se også avsnitt 1.4). Variasjonen i RF har for de 6 første prøvefrakkene vært omtrent lik (16-54% RF), for den siste (nr. 7) vesentlig mindre (38-49% RF). Dette øker usikkerheten i beregnede resistansparametre for frakk nr. 7.

2.2 Tekstilenes elektriske ledningsegenskaper

Den tyske industrinormen DIN 54345 (1972) beskriver metoder for måling av tekstile materialers resistansparametre (se definisjoner i Appendiks 1) ved hjelp av en spesielt konstruert måleelektrode og en høyohmig elektrometerforsterker. Metoden er anvendt i denne undersøkelsen og er nærmere beskrevet i Appendiks 3. Etter ett døgns akklimatisering i målelaboratoriet er frakkenes overflateresistans og gjennomgangsresistivitet målt med den gitte DIN-elektroden. Målingene har hver gang vært gjort på tilnærmet samme del av frakken (venstre frakkeskjøt foran). I DIN-normen defineres ved hjelp av et klimarom en normalomgivelse $+20^{\circ}\text{C}$, 30% RF. Måleresultater for resistans refereres altså i DIN 54345 til 30% RF. Følgende indirekte metode har vært benyttet i vår undersøkelse: Luftens relative fuktighet og temperatur er under hver måleserie målt med psykrometer, se Appendiks 2. Resistansmåledataenes funksjonssammenheng med luftens relative fuktighet er analysert på en HP-85 datamaskin med statistiske regresjonsmetoder. Den påviste funksjonssammenheng er senere benyttet for å finne (beregnete) resistansparametre ved andre fuktigheter. Spesielt er frakkenes overflateresistans (R_o , enhet Gohm) og gjennomgangsresistivitet (g , enhet Gohm cm^2) i "tørr" (15% RF) og "komfortabel" (40% RF) luft beregnet. Verdiene er oppgitt som henholdsvis R_{15} , R_{40} , g_{15} , g_{40} . Tilsvarende verdier for 30% RF (= DIN relativ fuktighet) er angitt som R_d og g_d . Det er ikke

undersøkt hvilken betydning omgivelsesluftens temperatur har på resistansparametrene.

2.3 Oppladning i bruk: reise og gåspenninger

Registrering av personspenninger er omtalt i DIN 54345 (Teil 2) i forbindelse med testing av teppematerialer. Den anbefalte elektrode er meget spesiell mekanisk, og vi har istedet anvendt en tillempling av en "ladningsoverførings"-metode beskrevet av Jonassen, se Appendiks 4. Forsøkspersonen holder i alle prøvene en stålelektrode tilknyttet måleinstrumentet, og måling av personspenninger er gjort under følgende situasjoner for å simulere faktiske arbeidssituasjoner:

Reisespenning

Forsøkspersonen sitter rolig i 30 s på en kontorstol (stol med treramme og møbeltrekk i 70% ull/30% viskose ("Budalstoff") fra Skeie fabrikker). Sluttspenningen når forsøkspersonen reiser seg til stående posisjon registreres. Forsøket gjentas tre ganger og middelveidien av målte sluttspenninger oppgis uten fortegn som reisespenning V_r , enhet volt. Måleinstrumentet nullstilles mellom hver måling. Ved reising beveger forsøkspersonen ikke benene i forhold til gulvet da skotøyets oppladning ellers forstyrrer målingen.

Gåspenning

Sluttspenningen på forsøkspersonen etter én reising og 120 skritt på vanlig vinylgulvbelegg registreres (laboratoriegulv med 1x2 m avmerket felt, ganghastighet ca. 2 skritt/s). Etter 60 s stopper forsøkspersonen helt og står rolig mens sluttspenningen avleses. Spenningen etter gåing er oppgitt uten fortegn som gåspenning V_w , enhet volt.

Personkapasitans (C_p , enhet picofarad) er målt som beskrevet i Appendiks 1 og 4, og luftens relative fuktighet (RF , enhet %) og temperatur (T , enhet $^{\circ}C$) er målt som beskrevet i Appendiks 2.

Oppladningsenergien under reising og gåing er beregnet fra personkapasitans og personspenninger som beskrevet i Appendiks 1, og oppgitt som henholdsvis E_r og E_w for reise og gåprøvene.

I tillegg til standardprøvene beskrevet over, som alle forsøkspersoner har gjennomgått, har det for to forsøkspersoner vært foretatt mer inngående prøver av virkningen av noen ulike variasjoner av strømper og skotøy, se tabellene i avsnitt 3.2.

I de tilfeller der flere målinger av samme parameter er foretatt, er resultatet oppgitt som middelvei \pm 1SD (Standard Deviation). Statistisk sett indikerer dette spredningen av måleverdier (under forutsetning av

normalfordeling), idet sannsynligheten for at en måling ligger innenfor intervallet (middelvei \pm 1SD) er 2/3 (dvs. 67% av et større antall målinger ventes å ligge innenfor intervallet).

Det må understrekes at vår metode for måling av personspenning er en oppladningsundersøkelse. De maksimale oppladete personspenninger under de ulike prøvesituasjoner måles, mens virkningen av utladning gjennom skotøyet bare i liten grad vil registreres (se Appendiks 4).

3. MÅLERESULTATER

3.1 Elektriske ledningsegenskaper

Uniformstekstilenes elektriske ledningsegenskaper er målt med metoden beskrevet i avsnitt 2.2. Måleresultatene for parametrene overflateresistans (R_o) og gjennomgangsresistivitet (g) er presentert i tabell 3.1.1. Den åpenbare logaritmiske sammenhengen mellom overflateresistans og luftens relative fuktighet er som eksempel vist i fig. 3.1 med data for frakk nr. 4. Av hensyn til de statistiske analyseprogrammene er dataene for hver frakk transformert logaritmisk slik at regresjonslinjene blir rette linjer i et logaritmisk diagram som vist i eksempelet i fig. 3.2. De fullstendige regresjonsdata og forventede resistansparametre ved 15% RF, 40% RF og 30% RF (DIN) er gitt i tabell 3.1.2. Spesielt interessante data i tabellene er markert med innramming.

Tabell 3.1.1. MÅLERESULTATER - UNIFORMSTEKSTILENES RESISTANS

Tekstilenes elektriske ledningsegenskaper beskrevet med parametrene R_0 [Gohm] og g [Gohm cm²]. For frakk nr. 7 foreligger ufullstendige data. Gjennomgangsresistiviteten for frakk nr. 7 er i alle målinger 5400 ohm cm² \approx 0 Gohm cm² (målt med Fluke 8020 DMM). Dette skyldes metalltrådnvevingen som kortslutter på tvers av fibre. Tiereksponent er angitt med E.

| FRAKK # 1 | | | FRAKK # 5 | | |
|-----------|------------|-------------------------|-----------|------------|-------------------------|
| RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² | RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² |
| 18 | 1.10E+005 | 6.60E+004 | 33 | 2.40E+003 | 9.90E+003 |
| 34 | 4.00E+003 | 3.30E+003 | 41 | 7.10E+002 | 2.49E+003 |
| 41 | 2.90E+002 | 6.30E+002 | 20 | 9.10E+003 | 3.90E+004 |
| 39 | 8.70E+002 | 2.13E+003 | 47 | 1.00E+002 | 4.80E+002 |
| 20 | 1.70E+004 | 4.50E+004 | 34 | 5.60E+003 | 1.35E+004 |
| 47 | 1.00E+002 | 1.29E+002 | 18 | 3.70E+004 | 3.00E+004 |

| FRAKK # 2 | | | FRAKK # 6 | | |
|-----------|------------|-------------------------|-----------|------------|-------------------------|
| RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² | RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² |
| 20 | 1.30E+004 | 1.26E+004 | 47 | 5.40E+001 | 5.40E+001 |
| 39 | 2.20E+002 | 1.50E+002 | 51 | 1.40E+001 | 4.50E+000 |
| 34 | 9.10E+002 | 3.60E+003 | 49 | 8.70E+001 | 1.05E+001 |
| 18 | 5.00E+004 | 2.73E+004 | 41 | 3.20E+002 | 4.50E+002 |
| 41 | 8.20E+002 | 1.08E+003 | 18 | 2.20E+004 | 3.30E+005 |
| 42 | 4.20E+001 | 1.50E+002 | 34 | 7.30E+002 | 3.00E+002 |

| FRAKK # 3 | | | FRAKK # 7 | | |
|-----------|------------|-------------------------|-----------|------------|-------------------------|
| RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² | RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² |
| 41 | 4.20E+002 | 2.73E+002 | 49 | 5.80E+000 | 5.40E-006 |
| 20 | 6.50E+003 | 6.30E+003 | 38 | 3.60E+002 | 5.40E-006 |
| 18 | 1.20E+004 | 6.00E+003 | 45 | 3.80E+001 | 5.40E-006 |
| 34 | 2.90E+003 | 2.16E+003 | 47 | 5.60E+000 | 6.60E-006 |
| 39 | 1.10E+003 | 1.68E+002 | | | |
| 51 | 4.20E+001 | 2.70E+001 | | | |

| FRAKK # 4 | | |
|-----------|------------|-------------------------|
| RF % | R_0 Gohm | g Gohmcm ² |
| 34 | 5.90E+003 | 4.80E+003 |
| 18 | 3.70E+004 | 2.31E+004 |
| 39 | 2.00E+003 | 3.00E+003 |
| 20 | 3.30E+004 | 4.50E+004 |
| 47 | 8.70E+002 | 1.44E+003 |
| 41 | 1.20E+002 | 1.83E+003 |

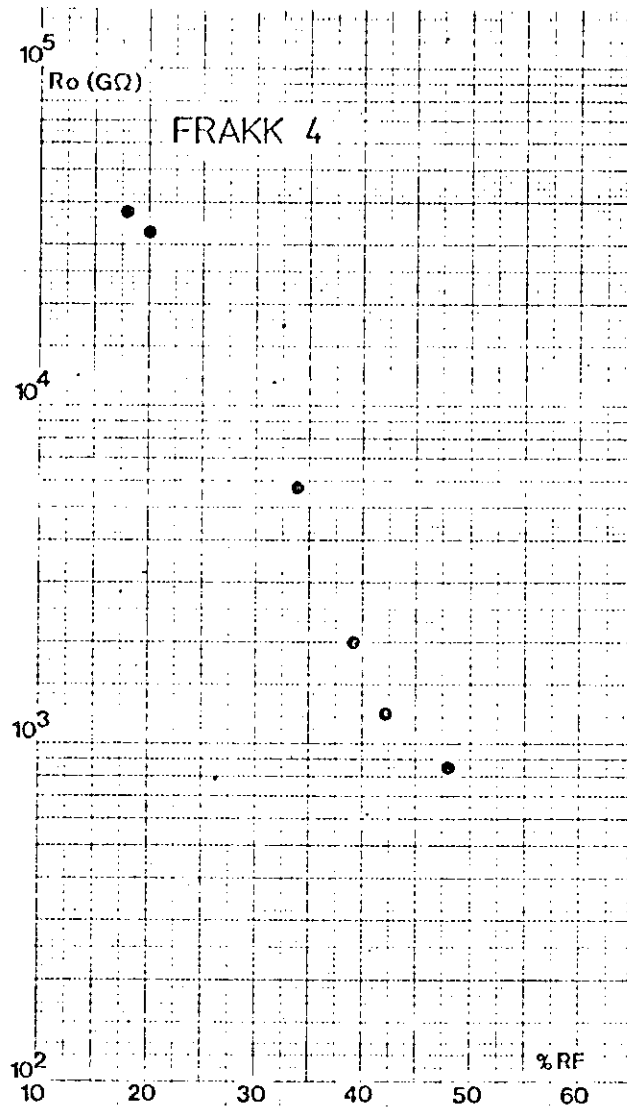


Fig. 3.1 Illustrasjon av den logaritmiske sammenheng mellom overflateresistans og RF. Frakk nr. 4 er brukt som eksempel.

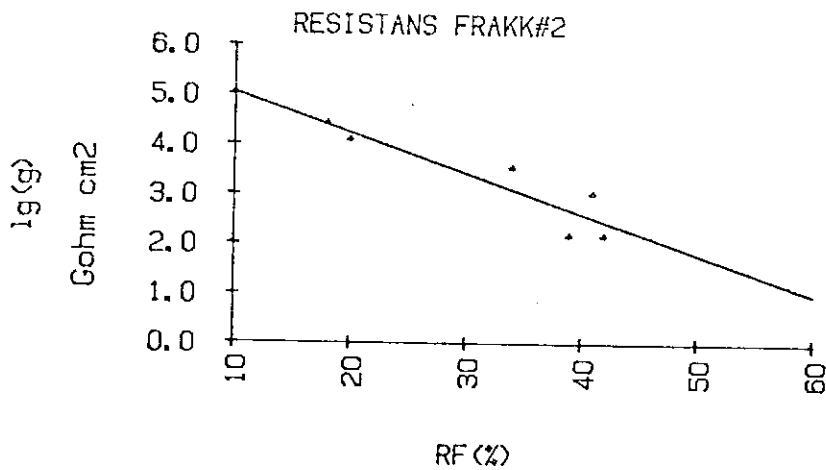
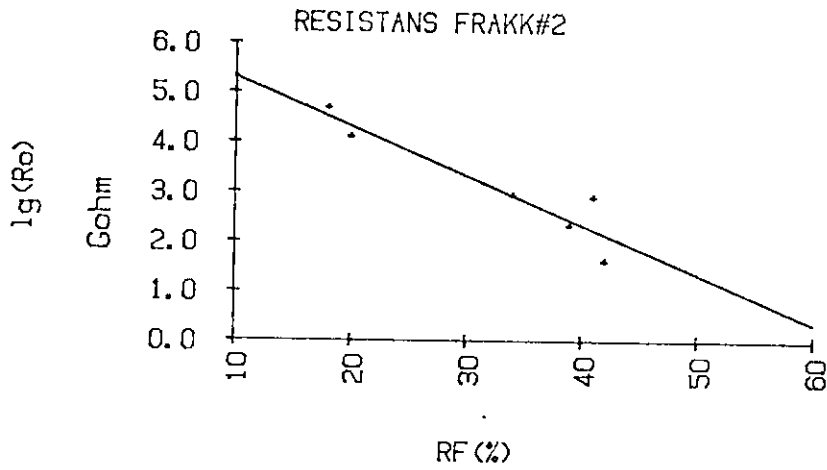


Fig. 3.2 Overflateresistans (R_o) og gjennomgangsresistivitet (g) som funksjon av relativ fuktighet illustrert med data for frakk nr. 2. Dataene er transformert logaritmisk ved hjelp av de statistiske analyse/regresjonsprogrammene i HP-85's programbibliotek. Fullstendige data for alle regresjonslinjer er gitt i tabell 3.1.2.

Tabell 3.1.1.2 BEREGNED RESISTANSPARAMETRE

R_{15} , R_{40} , g_{15} , g_{40} er forventede verdier ved 15% RF og 40% RF. R_d og g_d er forventede verdier ved 30% RF (DIN-normert normalomgivelse). Forventningsverdiene er beregnet ved regresjonslinjene (se fig. 3.2) med data fra tabell 3.1.1.1:

$$R_0 = \exp(y/0.318815) \text{ [Gohm]}; y = ax+tb \text{ gitt i tabellen.}$$

$$g = \exp(y/0.318815) \text{ [Gohm cm}^2\text{]}; y = ax+tb \text{ gitt i tabellen.}$$

Regresjonslinje for gjennomgangsresistiviteten til frakk nr. 7 er ikke beregnet.

Tiereksponent er angitt med E. I kolonnen merket R^* er det angitt ved hvilken relativ fuktighet (% RF) den forventede overflateresistans R_0 vil være lik grenseverdien 5GΩ (se Appendix 1 og 5).

| Frakk nr. | Logaritmisk regresjonslinje | Resistansparametre [Gohm cm ²] | | | | | | | $R^* = 5$ Gohm | |
|-----------|-----------------------------|--|---------|----------|----------|-------|----------|----------|----------------|--------|
| | | a | b | R_{15} | R_{40} | R_d | g_{15} | g_{40} | | g_d |
| 1 | R -0,0691 g -0,0647 | 4,7734 4,7433 | 1,2 E10 | 5,4 E2 | 4,7 E3 | | 1,3 E5 | 8,6 E2 | 6,5 E3 | 61% RF |
| 2 | R -0,0725 g -0,0594 | 4,6252 4,3040 | 6,5 E4 | 2,2 E2 | 2,1 E3 | | 4,4 E4 | 4,2 E2 | 2,7 E3 | 57% RF |
| 3 | R -0,0490 g -0,0525 | 3,9383 3,8574 | 2,3 E4 | 4,9 E2 | 2,3 E3 | | 1,5 E4 | 2,4 E2 | 1,2 E3 | 70% RF |
| 4 | R -0,0525 g -0,0370 | 4,3331 3,9929 | 6,7 E4 | 1,1 E3 | 5,7 E3 | | 4,8 E4 | 2,6 E3 | 8,4 E3 | 73% RF |
| 5 | R -0,0545 g -0,0436 | 4,2630 4,2481 | 4,9 E4 | 6,8 E2 | 3,8 E3 | | 7,8 E4 | 2,5 E3 | 1,0 E4 | 69% RF |
| 6 | R -0,0647 g -0,0993 | 4,3648 5,6999 | 4,2 E4 | 2,6 E2 | 2,0 E3 | | 5,4 E5 | 2,2 E2 | 5,0 E4 | 59% RF |
| 7 | R - ,1267 g - 0 | 6,7108 0 | 3,5 E6 | 1,7 E2 | 9,2 E3 | | | | | |

3.2 Personspenninger

Situasjonsparametre (personkapasitans, relativ fuktighet, romtemperatur, almen bekledning) for alle personspenningsprøvene er presentert i tabell 3.2.1.

Tabell 3.2.2 og 3.2.3 viser målte reisespenninger og beregnede oppladningsenergier for hele frakke- og personutvalget, sortert på henholdsvis personer og frakker. Det vil si at data i persontabellen (3.2.2) representerer gjennomsnittet av en person i alle frakker, og at data i frakketabellen (3.2.3) representerer gjennomsnittet av alle personer i samme frakk.

Tabell 3.2.4 viser reisespenningene i en spesiell, utvidet måleserie for to utvalgte personer med noen kombinasjoner av påkledning. Person nr. 2 ble valgt fordi hun så ut til å ligge nært gjennomsnittet både i reise- og gåprøvene. Person nr. 5 oppnådde ekstremt høye gåspenninger, se tabell 3.2.5. Denne person brukte normalt heller ikke strømpebukser under frakkene og vi antok at det kunne foreligge spesielle hudforhold. Samtidig med kombinasjonsprøvene beskrevet i tabell 3.2.4 ble det derfor målt hudimpedans på forsøkspersonene ved 10 Hz og tørre elektroder med påpust (se metodebeskrivelse i Grimnes, 1982), men bare normale verdier ble funnet.

Tilsvarende som for reisespenninger viser tabell 3.2.5 og 3.2.6 målte gåspenninger og beregnede oppladningsenergier sortert på henholdsvis personer og frakker. Tabell 3.2.7 viser gåspenninger for de samme påkledningskombinasjoner som i tabell 3.2.4.

Spesielt interessante data i tabellene er markert med innramming.

Tabell 3.2.1.1. SITUASJONSPARAMETRE UNDER PERSONSPENNINGSPRØVENE

Målt personkapasitans, relativ fuktighet og almen bekledning under prøvefrakkene. Person nr. 1 har 6 målinger (frakk nr. 7 mangler), og de andre personene har 7 målinger.

| Person | Personkapasitans Cp (pF) middel ± LSD | Prøveklima ^o | | Undertøy | Strømpe- bukse i test av frakk nr. | Sko (1) | Annet | |
|--------|---|-------------------------|----------------------|----------|--|------------|-------|---|
| | | RF (%) min. maks. | T (°C) min. maks. | | | | | |
| 1 (SA) | 130 ± 15 | 16 | 31 | 20,6 | 22,7 | Synt. | 1,2,5 | Hvite tresko |
| 2 (GP) | 192 ± 8 | 16 | 40 | 20,6 | 24,2 | Synt. | 2,4 | Lave pumps Synt. underskjørt |
| 3 (KS) | 253 ± 202 | 20 | 43 | 20,8 | 24,8 | Synt./Bom. | | Helsesandal Frakk 4 målt med gamle sko, de andre m. nye sko av samme type |
| 4 (EJ) | 147 ± 22 | 22 | 40 | 20,1 | 24,2 | Synt. | 1,2 | Hvite tresko Synt. underskjørt |
| 5 (LS) | 119 ± 7 | 16 | 54 | 20,6 | 24,8 | Bom. | 1,6 | Hvite tresko |
| 6 (RF) | 125 ± 4 | 16 | 51 | 20,0 | 24,0 | Bom. | | Helsesandal Bukse 65/35 under frakk 3,4,5,6 |

Merknader

(1) Det er ikke undersøkt om sko av samme type også er elektrisk sett "like".

(2) Person nr. 3 byttet skotøy i løpet av forsøksperioden. De gamle sandalene ga vesentlig høyere personkapasitans (hele 527 pF). Dette er årsaken til den store spredningen for denne personens kapasitans.

Tabell 3.2.2 REISESPENNINGER - PERSONER

Personspenninger for alle frakkene, ordnet etter personer.
 Situasjonsparetre under forsøkene er presentert i tabell 3.2.1.
 6 målinger på alle frakker unntatt nr. 7 (5 målinger).
 Oppladningsenergi er beregnet fra personkapasitansdata og personspenningene som
 beskrevet i Appendix 1.

| Person | Personspenning | | V_r (volt) | | maks./min. | Beregnet oppladningsenergi E_r (mJ) | | |
|--------|----------------|-------|------------------|------------------|------------|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| | min. | maks. | middel \pm LSD | middel \pm LSD | | min. | maks. | middel \pm LSD |
| 1 (SA) | 125 | 693 | 363 \pm 223 | 5,6 | 0,0008 | 0,003 | 0,01 \pm 0,01 | |
| 2 (GP) | 125 | 433 | 281 \pm 133 | 3,5 | 0,002 | 0,02 | 0,01 \pm 0,01 | |
| 3 (KS) | 56 | 1804 | 674 \pm 645 | 32,2 | 0,001 | 0,22 | 0,05 \pm 0,08 | |
| 4 (EJ) | 230 | 983 | 520 \pm 275 | 4,3 | 0,003 | 0,06 | 0,02 \pm 0,02 | |
| 5 (LS) | 94 | 1045 | 463 \pm 294 | 11,1 | 0,0005 | 0,06 | 0,02 \pm 0,02 | |
| 6 (RF) | 112 | 3553 | 1771 \pm 1312 | 31,7 | 0,001 | 0,78 | 0,28 \pm 0,33 | |

Tabell 3.2.3 REISESPENNINGER - FRAKKER

Personspenninger for alle frakker, ordnet etter frakker.
 Situasjonsparetre under forsøkene er presentert i tabell 3.2.1.
 6 målinger på alle frakker, unntatt frakk nr. 7 (5 målinger).
 Kolonne RF (%) viser variasjonen i relativ fuktighet under hele prøverekken for frakken.
 Oppladningsenergi er beregnet fra personkapasitansdata og personspenningene som beskrevet i
 Appendiks 1.

| Frakk | Personspenning | | V_r (volt) midsel ± 1SD | maks./min. | RF (%) | | Beregnet oppladningsenergi E_r (mJ) | | |
|-------|----------------|-------|------------------------------|------------|--------|-------|---------------------------------------|-------|--------------|
| | min. | maks. | | | min. | maks. | min. | maks. | |
| 1 | 230 | 3418 | 1165 ± 1239 | 14,9 | 16 | 38 | 0,003 | 0,73 | 0,17 ± 0,29 |
| 2 | 112 | 528 | 342 ± 170 | 4,7 | 21 | 30 | 0,0008 | 0,02 | 0,01 ± 0,008 |
| 3 | 56 | 1285 | 495 ± 413 | 22,9 | 21 | 51 | 0,0008 | 0,10 | 0,03 ± 0,04 |
| 4 | 56 | 2003 | 662 ± 756 | 35,8 | 16 | 39 | 0,001 | 0,24 | 0,06 ± 0,09 |
| 5 | 125 | 3553 | 1026 ± 1315 | 28,4 | 16 | 38 | 0,001 | 0,78 | 0,16 ± 0,31 |
| 6 | 294 | 1372 | 695 ± 405 | 4,7 | 16 | 43 | 0,01 | 0,11 | 0,04 ± 0,04 |
| 7 | 94 | 656 | 366 ± 214 | 7,0 | 40 | 54 | 0,006 | 0,03 | 0,02 ± 0,01 |

Tabell 3.2.4. REISESPENNINGER - UTVIDET MÅLESERIE MED TO PERSONER

Personspenninger med noen forskjellige kombinasjoner av frakker og påkledning. 2 personer undersøkt, T=24,20C, RF=38%. Strømpebukser er angitt med "str."

| Frakk nr. | Person nr. 2 (GP) | | Person nr. 5 (LS) | | Med str. | Med str. | Med str. | Med str. | Barfot |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | Uten str. | Med str. | Uten str. | Med str. | | | | | |
| | Personspenning V_I (volt) | Personspenning V_I (volt) | Personspenning V_I (volt) | Personspenning V_I (volt) | | | | | |
| 1 | 814 | 878 | 266 | 2283 | | | | 2243 | |
| 2 | 96 | 91 | 190 | 271 | | | | 275 | |
| 3 | 745 | 687 | 1101 | 843 | | | | | |
| 4 | 183 | 581 | 1310 | 863 | | | | | |
| 5 | 888 | 742 | 1219 | 652 | | | | | |
| 6 | 783 | 668 | 1093 | 807 | | | | | |
| 7 | | | | 686 | | | 1008 | 121 | 218 |
| ----- | | | | | | | | | |
| Cp (pF) + iSD | 197+3 | 195+2 | 112 | 115+4 | 117+2 | 134+5 | 1095 | 1125 | |
| Kommentar | Lavhelte pumps m./gummisåle | LS's hvite tresko | Hvite tresko m/plastsåle | Lave "sivile" sandaler | | | | | |
| | Syntetisk undertøy og underskjørt | Bomullssokker og bomullsundertøy | | | | | | | |

Tabell 3.2.5 GÅSPENNINGER - PERSONER

Målte personspenninger under gåprøvene, ordnet etter personer. Situasjonsparametre under forsøkene er presentert i tabell 3.2.1. Oppladningsenergi er beregnet fra personkapasitansdata og personspenningene som beskrevet i Appendix 1.

| Person | Personspenning | | V_w (volt) middel \pm LSD | Maks./ min. | | Beregnet oppladnings- energi. E_w (mJ) | |
|--------|----------------|-------|----------------------------------|----------------|-------|---|----------------|
| | min. | maks. | | min. | maks. | min. | maks. |
| 1 | 3865 | 10881 | 7834 \pm 2595 | 2,8 | 1,05 | 7,52 | 4,4 \pm 2,6 |
| 2 | 180 | 3553 | 1499 \pm 1089 | 19,7 | 0,003 | 1,25 | 0,3 \pm 0,4 |
| 3 | 718 | 11534 | 4245 \pm 4358 | 16,0 | 0,15 | 8,32 | 2,3 \pm 3,3 |
| 4 | 260 | 7658 | 2133 \pm 2540 | 29,5 | 0,01 | 3,37 | 0,6 \pm 1,2 |
| 5 | 11534 | 38360 | 19754 \pm 8919 | 3,3 | 8,32 | 88,30 | 27,3 \pm 28 |
| 6 | 158 | 6728 | 3198 \pm 2556 | 42,6 | 0,002 | 2,83 | 0,98 \pm 1,0 |

Tabell 3.2.6 GÅSPENNINGER - FRAKKER

Målte personspenninger under gåprøvene, ordnet etter frakker. Situasjonsparametre under forsøkene er presentert i tabell 3.2.1.1. Oppladningsenergi er beregnet fra personkapasitansdata og personspenningen som beskrevet i Appendix 1.

| Frakk nr. | Personspenning | | V_w (volt) | | Beregnet oppladningsenergi E_w (mJ) | | |
|-----------|----------------|-------|--------------|------------|---------------------------------------|-------|---------------|
| | min. | maks. | min. | maks./min. | min. | maks. | middele + LSD |
| 1 | 909 | 23350 | 7970 ± 8129 | 25,7 | 0,08 | 32,71 | 7,2 ± 12,6 |
| 2 | 612 | 15826 | 5669 ± 5654 | 25,9 | 0,02 | 13,78 | 3,6 ± 5,3 |
| 3 | 158 | 38360 | 8728 ± 15076 | 242,8 | 0,001 | 88,30 | 16,0 ± 35,5 |
| 4 | 767 | 15462 | 4601 ± 5557 | 20,2 | 0,05 | 13,15 | 2,7 ± 5,1 |
| 5 | 972 | 16534 | 5175 ± 5868 | 17,0 | 0,09 | 15,72 | 3,2 ± 6,2 |
| 6 | 180 | 17212 | 7616 ± 6472 | 95,6 | 0,03 | 18,90 | 5,9 ± 7,2 |
| 7 | 260 | 11534 | 4849 ± 5188 | 44,4 | 0,01 | 8,32 | 2,9 ± 3,8 |

Tabell 3.2.7. GÅSPENNINGER - UTVIDET MÅLESERIE MED TO PERSONER

Personspenninger med noen forskjellige kombinasjoner av frakker og påkledning. 2 personer undersøkt, T=24,2°C, RF=38%. Strømpebukser er angitt med "str."

| Frakk nr. | Person nr. 2 (GP) | | Person nr. 5 (LS) | | Barfot |
|-----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | Uten str. | Med str. | Uten str. | Med str. | |
| | Med LS's sko uten str. | | Med str. sandal | | Uten sko |
| | Personspenning Vw (volt) | | Personspenning Vw (volt) | | Uten sko |
| 1 | 1036 | 2061 | 33 356 | 26 105 | 748 |
| 2 | 3625 | 3469 | 37 000 | 36 692 | 2595 |
| 3 | 2856 | 2958 | 34 257 | 32 226 | |
| 4 | 812 | 1562 | 30 377 | 33 066 | 37 |
| 5 | 2022 | 1761 | 35 111 | 30 273 | |
| 6 | 1684 | 2641 | 31 955 | 32 470 | |
| 7 | 3232 | 2786 | 33 081 | 31 955 | 165 |

Kommentar Lavhelte pumps med gummisåle Byttet til LS's Hvite tresko Lave "sivile" sandaler
 Syntetisk undertøy og underskjørt Bomullssokker og bomull undertøy

4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

4.1 Reiseprøver og resistansparametre

Det er en utbredt oppfatning blant forfattere som har undersøkt elektrostatiske oppladninger av tekstiler at det ofte er meget vanskelig å isolere de enkelte faktorer i prosessen og å oppnå reproduerbare resultater. Blant annet omtaler Henry (1953) de elektrostatiske fenomener med "their apparently capricious nature" ("deres tilsynelatende lunefulle oppførsel"). Produsenten av tekstilet i frakk nr. 7 (Riegel) sier til og med i en salgsbrosjyre som kommentar til sine egne målinger av elektrostatisk oppladningsspenning: "The above results, while not directly reproducible,..." ("De oppgitte resultater, selv om de ikke er direkte reproduerbare,...", understreket av forfatterne). Det er minst to årsaker til dette, både at alle forhold av betydning for oppladningsprosessen ikke er kjent, og at det i praktiske målesituasjoner er vanskelig å holde alle forsøksbetingelser konstante.

I vår metode for undersøkelse av personspenninger har vi ikke forsøkt å holde forsøksbetingelsene konstante, men tvert imot latt mange av de naturlige variasjoner i romtemperatur, relativ fuktighet, almen påkledning etc. innvirke på resultatene. På denne måten er det mulig med selv et begrenset prøveantall å oppnå en indikasjon på hvordan personer vil oppleve frakkenes elektrostatiske egenskaper i praktisk bruk.

Våre måledata er altså samlet inn under bestemte forutsetninger, av hvilke spesielt påpekes:

1. Vi måler personspenninger under standardiserte reise og gå-bevegelser. Hvis bevegelsene i praktisk bruk er annerledes enn i vår standardsituasjon blir også den elektrostatiske oppladning en annen. Hvis benene beveges samtidig som forsøkspersonen reiser seg blir oppladningen påvirket.
2. Reiseprøvene er foretatt fra en standardisert ull/viskose- overflate som ifølge møbelprodusenter er det normalt forekommende møbeltrekk. Ved praktisk bruk av uniformsfrakkene kan andre møbeloverflater finnes, og oppladningen ved gnidning blir forskjellig (se den triboelektriske rekken i avsnitt 1.2).
3. Det er velkjent at det etter lang tids bruk er en tendens til slitasje og utvasking av bomullsfibrene i blandingsstekstiler. Polyester/bomullsforholdet stiger derfor etterhvert som tøyets brukes. Tilsvarende er det også kjent at mengden av fri harpiks i tekstilet avtar etterhvert, og at de elektriske ledningsegenskapene dermed endres. Alle prøver er foretatt etter 2-7 vaskinger og det er ikke klarlagt hvordan de elektriske egenskapene vil være etter et større antall vaskinger (100-200).
4. Skotøyets resistans avgjør utladningen av en person (se Appendiks 4). Vår målemetode gir bare opplysninger om oppladningen, ikke om utladningen av forsøkspersonen. (Med tilstrekkelig godt ledende "anti-statiske"

sko/gulv blir utladningstiden så kort, $< 1s$, at ingen frakker vil oppleves som "statiske"). Slik personspenningssprøvene er utformet gir derfor ventelig reiseprøvene mest informasjon om frakkenes elektriske parametre, mens gåprøvene gir mest informasjon om skotøyets innvirkning på oppladningen.

Vi analyserer derfor gåspenningssprøvene uavhengig i et eget avsnitt.

For frakk nr. 7 foreligger ikke komplette måledata og denne frakken omtales ikke sammen med de andre frakkene i hoveddiskusjonen.

Hvis maksimale personspenninger og tilsvarende oppladningsenergier fra tabell 3.2.3 klassifiseres etter Jonassens kriterier (se avsnitt 1.3) og sikkerhetsgrensen for gassantennelse (se Appendiks 5), kan måleresultatene for maksimale reisespenninger med de ulike frakkene grupperes som vist i tabell 4.1.1.

La oss først konstatere at reiseprøvene avslører at det er merkbare og avgjørende forskjeller mellom de ulike frakkene som er undersøkt.

Oppladningsenergigrensen på 0,2 mJ faller tilfeldigvis sammen med merkbare personspenninger slik at de mulig plagsomme frakkene (nr. 1,4,5) også er de som mulig overstiger energigrensen. Det må understrekes at de

maksimale reisespenninger er målt i perioder med lav og variabel relativ fuktighet og at klassifikasjonen i tabell 4.1.1 derfor ikke gjelder ved all bruk av frakkene.

Tabell 3.2.3 viser en påtakelig variasjon i forholdet mellom maksimal og minimal reisespenning for de ulike frakkene. Spesielt frakk nr. 2 og 6 viser liten variasjon i forholdstallet (maks./min.). For frakk nr. 2 kan dette delvis forklares med at variasjonen i RF under prøverekkenene har vært noe mindre enn for de andre frakkene, men dette gjelder ikke frakk nr. 6. Sammenlignes denne med frakk nr. 4 ser vi at for samme fuktighetsvariasjon varierer de målte oppladningsspenningene for frakk nr. 4 mer enn 7 ganger så mye som for frakk nr. 6. Et høyt forholdstall (maks./min.) indikerer at i ugunstige situasjoner (ved spesielt lav RF) vil et større antall personer oppleve frakken som ubehagelig elektrostatisk enn ved et tilsvarende lavt forholdstall. Det er ikke klart hvilken sammenheng det er mellom dette forholdstallet og fiberinnhold eller veving i tekstilet.

Tabell 3.2.4 viser at med noen unntak oppnås lavere reisespenninger når det benyttes strømpebukser under frakken i stedet for bar hud. Dette resultatet er i overensstemmelse med plasseringen av nylon (hovedbestanddel i strømpebukser) i den triboelektriske rekken i forhold til bar hud. Våre undersøkelser viser at tøy under frakken spiller liten rolle når det sitter relativt tett inn på

kroppen. Det mest avgjørende for elektrostatisk oppladning er tekstilet som personen har ytterst mot omgivelsene. Data for person nr. 2 tyder på at reisespenningene øker merkbart ved skifte av sko, mens data for person nr. 5 tyder på uforandret reisespenning med andre sko. Alle kombinasjoner av frakker og skotøy er av forskjellige grunner ikke prøvet. I praksis vil skotøyet innvirke på reisespenningen ved at personkapasitansen endres. Med større kapasitans blir oppladningsspenningen lavere hvis generert ladning er den samme.

Alle målinger av person nr. 2 i tabell 3.2.4 ligger lavt (<1000 V), mens mange av målingene for person nr. 5 ligger over 1000 V-grensen. Dette faller helt sammen med reisespenningsdata fra tabell 3.2.2 der person nr. 5 har markant høyere maksimal og middelværdi for reisespenning. Person nr 5 har oppgitt å være generelt meget plaget av statisk elektrisk oppladning vinterstid. Dette har også person nr. 6 oppgitt, og tabell 3.2.2 viser at hun har de høyeste målte reisespenninger, forøvrig med stor spredning. Denne personen har brukt uniformsbukser med samme tekstil som frakk nr. 4 i endel av prøvene, men en analyse av enkeltmåledataene (ikke oppgitt her) tyder ikke på noen korrelasjon mellom høy personspenning ved reising og bukse under frakken. Derimot oppnår denne personen lave reisespenninger i frakk nr. 2 sammenlignet med maksimal og middelværdi i tabell 3.2.2; henholdsvis 112 V og 656 V.

Frakk nr. 2 viser gjennomgående de laveste personspenningene i bruk.

Dette framgår både av tabell 3.2.3 og (enda tydeligere) av tabell 3.2.4.

Ved sammenligning av personers reisespenning fra tabell 3.2.2 og situasjonsparametrene fra tabell 3.2.1 viser det seg at de tre personene som har oppnådd størst maksimal reisespenning med de ulike frakkene også er de som har benyttet bomullsundertøy. Det er ikke gjort ytterligere undersøkelser for å klargjøre undertøyets betydning for elektrostatisk oppladning ved reising. Den påpekte sammenhengen og data for personspenning med og uten strømpebukser tyder på at flerlagsgnidning som antydnet i kapittel 1 spiller en viss rolle for oppladningen.

Den gjennomgående tendens er altså at personspenninger ved reising fra ull/viskose møbelstoff i all hovedsak er bestemt av uniformstekstiletts ytterflate.

Mange forfattere har diskutert hvilken sammenheng det er mellom oppladningene i praktisk bruk og de målbare resistansparametre i en laboratorieprøve av frakken. Hvis en enkel sammenheng finnes kan ulike frakker karakteriseres bare ved et sett resistansparametre. Med DIN-normens målemetode (som vi følger, unntatt klimarom) er det i seg selv ikke vanskelig å oppnå reproducerbare måleresultater av resistansparametre. DIN-normen unnlater imidlertid helt å diskutere akseptable grenseverdier for resistansparametre. Wilson og Henry har etter avveining av flere forhold foreslått en maksimalgrense for "ikke-statisk"

overflateresistans. Som påpekt i Appendiks 1 bruker de en annen elektrodekonstruksjon enn vi og målingene av overflateresistans med DIN-elektroden kan ikke sammenlignes direkte. Omregnet til DIN-elektroden er Wilsons og Henrys maksimalkrav ekvivalent til 5 Gohm målt overflateresistans (R_o).

Resistansvariasjonene som funksjon av relativ fuktighet har ulike konstanter for de forskjellige tekstilene.

I tabell 3.1.2 er det oppgitt ved hvilken relativ fuktighet frakkene vil oppnå en (beregnet) overflateresistans lavere eller lik en 5 Gohm maksimalgrense. For de undersøkte frakkene inntreer dette først ved 57-73% RF. Hvis Henrys og Wilsons grense er gyldig er det altså likevel ikke mulig å senke resistansen tilstrekkelig uten urimelig høy befuktning.

Frakk nr. 2 ligger forøvrig også her best an, med nr. 6 og nr. 1 kloss innpå.

En rangering av frakkene etter flere ulike parametre er vist i tabell 4.1.2. For å identifisere det mulige parametersettet som har best sammenheng med reisespenningene er det ved hjelp av statistikkpakken i HP-85 datamaskinen utført korrelasjonsanalyse på dataene som danner grunnlag for tabell 4.1.2.

Tabell 4.1.1.1. MAKSIMAL ELEKTROSTATISK OPPLADNING I REISEPRØVENE

Data fra tabell 3.2.3. Frakkenummer er angitt.

| | |
|--|--|
| Maksimal personspenning V_F , maks. ved reising (Jonassens kriterier, se avsnitt 1.3) (Variasjon i måledata: 528 V - 3553 V) | Maksimal oppladningsenergi ved reising E_F , maks. (sikkerhetsgrense 0,2 mJ) |
| Ikke merkbar | Merkbar, men ikke plagsom |
| $V_F < 1000$ V | 1000 V $< V_F < 2000$ V |
| | Mullig plagsom $V_F > 2000$ V |
| | $< 0,2$ mJ |
| | $> 0,2$ mJ |
| nr. 2 | nr. 3,6 |
| | nr. 1,4,5 |
| | nr. 2,3,6 |
| | nr. 1,4,5 |

Tabell 4.1.1.2. RANGERING AV FRAKKER ETTER ULIKE PARAMETRE

De undersøkte frakker er rangert etter resistansparametre fra tabell 3.1.2., fiberinnholdet fra tabell 2.1.1., og reisespenninger fra tabell 3.2.3. Rangering med liten variasjon i data er markert med rammer, dvs. frakkene kan betraktes mer eller mindre som like. For kolonnen Fiberinnhold betyr rammene at data er like, ordningen er da foretatt stigende etter nummer.

MERK! Numrene i tabellen er frakkenummer. For frakk nr. 7 foreligger færre data enn for de andre!

| | RL5 | R40 | g15 | g40 | DIN Rd | Fiberinnhold Polyester % vekt & ut | V _r , middel | V _r , maks. |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----------|--|-------------------------|------------------------|
| Best | 3 | (7) | (7) | (7) | 6 | 2 | 2 | 2 |
| | 6 | 2 | 3 | 6 | 2 | 1 | (7) | (7) |
| | 5 | 6 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| | 4 | 1 | 5 | 1 | 5 | 6 | 6 | 4 |
| | 1 | 5 | 1 | 4 | 4 | 4 | (7) | 1 |
| Dårligst | (7) | 4 | 6 | 5 | (7) | 1 | 1 | 5 |

Resultatet av en korrelasjonsanalyse er en faktor (" r^2 ") som indikerer hvor godt datasettet tilpasses av en lineær sammenheng (en rett linje gjennom sammenhørende datapar). Hvis $r^2=1$ er tilpasningen perfekt, mens lavere verdier indikerer dårligere tilpasning. Det viser seg at maksimal reisespenning (V_r , maks) best korrelerer med variabelen gjennomgangsresistivitet ved 30% RF (gd) ($r^2=0,78$).

Maksimalreisespenningen er forbausende dårlig korrelert med tekstilets polyesterfiberinnhold ($r^2=0,3$). Korrelasjonen mellom maksimal reisespenning og polyesterfiberinnhold utover er litt bedre ($r^2=0,42$). Av de andre parametrene er det overflateresistansen ved 40% RF (R40) som best korrelerer med maksimal reisespenning ($r^2=0,56$).

Det er altså ikke ett opplagt og entydig laboratorieparametersett som beskriver frakkenes oppladningstendens (uttrykt med V_r , maks) i praksis. En rangering av ulike frakker m.h.t oppladningstendens kan ikke gjøres etter bare resistansparametre.

Dette er også i overensstemmelse med Wilsons slutt-konklusjon, selv om han likevel framsetter en mulig overflateresistansgrense.

Av de frakkene i tabell 4.1.1 som har maksimal reiseenergi $<0,2$ mJ er det som vist i tabell 3.2.3 bare frakk nr. 2 som har maksimal reiseenergi i samme område som de ekstra lave tennenergiene fra Appendiks 5, for Acetylene og Hydrogen ca. 0,02 mJ.

Bomullsfrakken (nr. 2) plasserer seg utvetydig best med hensyn til lav personspenning og oppladningsenergi ved reising.

Endel tøyprodusenter har av ulike grunner (spesielt komforthensyn) laget inhomogent vevde tekstiler, for eksempel med mer eller mindre bomullsfibres innover eller utover. Fire av de undersøkte frakkene har 50/50 blanding av polyester og bomull, og av disse er nr. 1 og nr. 6 inhomogent vevet (mest bomull innover). Frakk nr. 3 og nr. 5 har homogen blanding av polyester og bomull. Av de to sistnevnte skiller nr. 3 seg ut ved å være kjemisk spesialbehandlet under produksjon. Spesielt interessant er at harpikstilsetningen er gjort i en spesiell dampbehandling ("vapor phase") som ifølge produsenten fører til jevnere fiberegenskaper og lite fritt harpiks utenpå fibre. Kolonnen for maksimal reisespenning i tabell 4.1.2 viser at disse 50/50-frakkene gir ulik oppladning. Den homogene frakken (nr.3) har lavest polyesterinnhold utover og ligger best an av blandingstekstilene m.h.t oppladning. Frakkene nr. 6 og nr. 1 får plassering i ulike grupper til tross for omtrent samme mengde polyester i ytterlaget. Produsentene av frakkene nr. 1 og nr. 6 har spesielt påpekt at innsiden er vevet med mye bomull for å være behagelig og svetteabsorberende. Sett i forhold til en homogen 50/50-blanding kan komforthensyn dermed sies å dra blandingsfrakkene i motsatt retning i forhold til hva som gir gunstige elektrostatiske egenskaper. Dette stemmer med

hva som tidligere er sagt om at korrelasjonen mellom maksimal reisespenning og polyesterinnhold utover er høyere enn tilsvarende innover, og at korrelasjonen mellom maksimal reisespenning og polyesterinnhold generelt er forbausende lav. Frakk nr. 6 plasseres likevel i samme hovedgruppe som den homogene 50/50-frakken (nr. 3).

Blant de 6 undersøkte prøvefrakkene befinner den nåværende 65/35 standardfrakken (nr. 4) seg i den dårligste halvdel når det gjelder målt maksimal reisespenning.

Produsenten av frakk nr. 7 har spesielt markedsført frakken som "anti-statisk" idet det er innvevd ståltråd (tvunnet omkring fibre med jevne mellomrom). Som vist i tabell 3.1.1 påvirkes ikke overflateresistansen av ståltråddinnveving (det er ingen kontakt fra en ståltråd til den neste), mens gjennomgangsresistiviteten omtrent er null (ståltrådene kortslutter tekstilet i gjennomgang). Tabell 3.1.2 viser at denne frakken har den høyeste overflateresistans ved 15% RF (stort polyesterinnhold), mens tabell 4.1.1 viser god rangering etter reisespenning. På grunn av prøvesituasjonen har det dessverre ikke vært mulig å undersøke hvordan frakk nr. 7 med metalltråd vil oppføre seg i reiseprøver ved lav fuktighet. Innveving av ståltråd kan sies å være en interessant "anti-statisk" løsning, men frakken må måles også ved lave luftfuktigheter for eventuelt å bekrefte dette.

4.2 Gåprøver

Det er åpenbart fra tabell 3.2.5 at det er store forskjeller mellom de forskjellige personers oppladningsspenning i gåprøvene. Spesielt de systematisk høye oppladningsspenningene for person nr.5 fikk oss til å undersøke skotøyets innvirkning. Tabell 3.2.7, som viser gåspenninger med noen kombinasjoner av påkledning for person nr. 2 og nr. 5, avslører at skotøyet spiller en avgjørende rolle for oppladningen i gåprøvene. Person nr. 2, som systematisk oppnådde lave gåspenninger i alle frakkene (se tabell 3.2.5) fikk ved bare å bytte sko med person nr.5 en voldsom økning av oppladningsspenningen. Tilsvarende fikk "problemperson" nr. 5 redusert sin oppladningsspenning radikalt ved å gå over til å bruke andre sko (tilfeldig valgte "sivile" sandaler).

Tabellen over gåspenninger sortert på frakker (tabell 3.2.6) viser ingen signifikante forskjeller mellom de ulike frakkene, og tabellen over gåspenninger ved variasjoner i påkledning (tabell 3.2.7) er helt dominert av skotøybytte. Som påpekt i avsnitt 1.3 er oppladningen i gåprøver proporsjonal med antall skritt. Slik gåprøven er lagt opp, består den endelige personspenning av oppladning ved reising pluss oppladning av ca. 120 skritt. De faktiske oppladninger under gåing vil foruten gnidning av frakken være påvirket av skotøyet, gulvbelegget, ganglaget og antall skritt som tas før utladning.

På grunn av de høye personspenningene gir alle våre gåprøver maksimale oppladningsenergier større enn sikkerhetsgrensen 0,2 mJ.

Med "gode" sko (person nr. 2) og med arbeidssituasjoner som innebærer få skritt vil frakkens betydning for elektrostatisk oppladning være mest merkbar. Hvis sko og gulv er godt elektrisk ledende (spesielt "anti-statiske" sko og gulvbelegg) vil utladningstiden kunne bli så kort (< 1s) at oppladningen i praksis ikke vil merkes. For å finne akseptabelt "normalskotøy" må ytterligere undersøkelser gjøres og skosålenes resistans måles.

Skotøyet er i visse tilfeller helt dominerende for oppladning i gåprøvene, og enkelte varianter av skotøy gir større bidrag til høy oppladningsspenning enn den dårligste frakk.

4.3 Konklusjoner

- (1) Under mange forsøksbetingelser er skotøy/gulv viktigere enn påkledning for elektrostatisk oppladning av personer. Uten kontroll med skotøy/gulv er forholdene ikke under kontroll. Under gåprøvene på "vanlige" gulv kan det være dramatiske forskjeller mellom ulike "vanlige" sko. Forskjellen mellom to par sko kan være mye større enn mellom beste og dårligste frakk.
- (2) Blant de undersøkte prøvefrakker er det stor spredning av målte maksimale personspenninger i reiseprøvene og i målte resistansparametre. Forholdet mellom høyeste/laveste overflateresistans og mellom høyeste/laveste maksimale reisespenning er ca. 7:1, svarende til at forholdet mellom høyeste/laveste maksimale reiseenergi er ca. 50:1.
- (3) Den rene bomullsfrakken (nr. 2) er udiskutabelt den beste m.h.t. elektrostatisk oppladning under bruk.
- (4) Relativt tettsittende almen bekledning under en frakk (undertøy, skjorte etc.) påvirker elektrostatiske forhold bare i liten grad under vanlig bruk.

- (5) Den nå brukte 65/35 blandingsfrakken (nr.4) er i den dårligste halvdel av de 6 undersøkte prøvefrakkene.
- (6) Blant 50/50 frakkene (nr. 1,3,5,6) er det store forskjeller i oppladningstendens. Frakk nr. 3 og nr. 6 er signifikant bedre enn nr. 5 og nr. 1.
- (7) De to beste 50/50 frakkene (nr. 3 og nr. 6) ligger m.h.t. maksimal oppladningsspenning midt mellom ren bomull og den nå brukte 65/35 frakken.

5. Litteratur

Baxter S. (1943)

"Electrical conduction of textiles"
Trans. Faraday Soc. 1943, 34: 207-215.

Borrevik Aa. (1980)

"Tekstilers elektriske egenskaper"
Prosjekt 24.77.38. Norsk Tekstilinstitutt 1980, 20pp.

DIN 54345 (1972)

"Prüfung von Textilien. Beurteilung des elektrostatischen Verhaltens. Bestimmung elektrischer Widerstandsgrößen.
DIN 54345 (1972) Blatt 1, 4pp.

DIN 54345 (1976)

"Prüfung von Textilien. Beurteilung des elektrostatischen Verhaltens. Prüfung textiler Fussbodenbeläge im Begehversuch"
DIN 54345 (1976) Teil 2, 4pp.

DIN 54345 (1978)

"Prüfung von Textilien. Beurteilung des elektrostatischen Verhaltens. Prüfung textiler Fussbodenbeläge durch Simulation einer Begehung"
DIN 54345 (1978) Teil 3, 3pp.

Fanger, P.O. (1970): "Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering". Danish Technical Press, Copenhagen, 244pp.

Grimnes, S. (1982): "Psychogalvanic reflex and changes in electrical parameters in dry skin". Med. Biol. Eng. Comput. (1982), 20: 734-740.

Guest P.G. et al. (1952)

"Static electricity in hospital operating suites. Direct and related hazards and pertinent remedies."
Bureau of mines Report 4833, US Dept. of the Interior, Jan. 1952, 64pp.

Henry, P.S.H. (1953): "The role of assymmetric rubbing in the generation of static electricity". Brit. J. Applied Physics 1953, Suppl. 2: 531.

Henry, P.S.H. (1971): "Risks of ignition due to static on outer clothing". Static Electrification Conf. London 1971, Inst. Phys. Conf. Ser. no 11: 212-225.

Jonassen N. (1972)
"Statisk elektrisitet"
VVS (Dansk) (1972), 3:97-102, 118

Jonassen N. (1977)
"Statisk elektrisitet på operasjonsstuer på Københavns
kommunes hospital, Hvidovre"
Danmarks Tekniske Høyskole 1977, Internt notat; 32-35.

Nemko (1971)
"Slik måles fuktighet i luften"
Forbrukerrapporten (1973) 1:38-41

SPRI (1972)
"Statisk elektrisitet i gummi, plast och textil"
SPRI, Stockholm Rapport 12/72, 15pp.

Varefaktakomiteen (udatert)
"Lite fiberleksikon"
Varefaktakomiteen, Munkedamsveien 53b, Oslo 2, 22pp.

Vatne F. (1983)
"Utkast til veiledning om klima og ventilasjon på innendørs
arbeidsplasser"
Direktoratet for Arbeidstilsynet 01.06.83, 33pp.

Williams M.J. et al. (udatert)
"En undersøkelse av de elektrostatiske forhold for bomuld
og polyester/bomulds blandinger"
Teknologisk institutt, Vaskerikonsultasjonen København
(notat), 8pp.

Wilson N. (1977)
"The risk of fire or explosion due to static charges on
textile clothing"
J. Electrostatics (1977), 4:67-84

WIRA (1973): "Static electricity"
WIRA textile databook, ed. Rae & Bruce, Leeds 1973:
p. E14-E26. ISBN 0.900820.07.01.

Appendiks 1

ELEKTRISKE PARAMETRE

I en del av litteraturen råder det en viss uklarhet om hvilke parametre som egentlig er målt, hvilke måleenheter som benyttes og samme størrelse omtales ofte med ulike begreper. I det følgende gis det derfor en kortfattet oversikt over ulike elektriske parametre som karakteriserer frakkenes elektriske egenskaper. I Appendiks 3 beskrives den valgte måleutrustningen for resistansmålinger nærmere.

A1.1 Resistans

I SI-systemet er måleenheten for et materiales motstandsegenskaper for elektrisk strømgjennomgang definert ved materialkonstanten ρ :

$$\rho = \text{Resistivitet} = \frac{\text{Feltstyrke}}{\text{Strømtetthet}} \left(\frac{E}{J} \right),$$

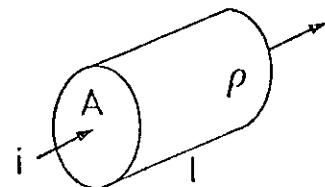
med måleenhet:

$$[\rho] = \left[\frac{V/m}{A/m^2} \right] = [\Omega m]$$

Oftest brukes istedet enheten $[\Omega cm]$.

Enheden ble tidligere kalt

"spesifikk resistans".



Den faktisk målbare resistansen i et prøvevolum med areal A og lengde l (volumresistansen = "bulk resistance") er da:

$$(A1.1) \quad R = \rho \frac{l}{A} [\Omega]$$

Eller omvendt, når de andre parametre måles er resistiviteten gitt ved:

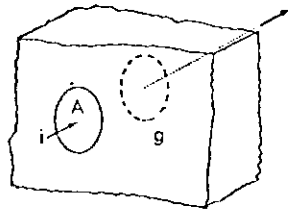
$$(A1.2) \quad \rho = \frac{A}{l} R [\Omega cm]$$

Når det gjelder tekstilmaterialers resistans har det av forskjellige grunner blitt presentert parametre som ikke alle er uavhengige av måleelektrodenes og prøvestykkenes geometri. Parametrene er da ikke materialkonstanter og sammenligning av ulike forfatteres måledata kan ikke gjøres uten videre. Vi skal i det følgende betrakte to hovedgrupper av resistansparametre; målt gjennom tekstilet (fra forside til bakside) og målt langs tekstilets ene overflate.

Gjennomgangsmåling av tekstilresistans

Hvis prøvevolumet ikke er begrenset i flate og har konstant tykkelse er det praktisk å definere en prøveparameter slik at den blir uavhengig av elektrodeflatene det måles imellom:

$$(A1.3) \quad \overset{\text{def}}{g} = \overset{\text{def}}{\text{gjennomgangsresistivitet}} = \text{resistans} \cdot \text{flate} [\Omega\text{cm}]$$



Den målte resistansen mellom elektrodene med areal A er da:

$$(A1.4) \quad R = \frac{g}{A} [\Omega]$$

Eller omvendt, når resistans måles og arealet er kjent:

$$(A1.5) \quad g = R \cdot A [\Omega\text{cm}^2]$$

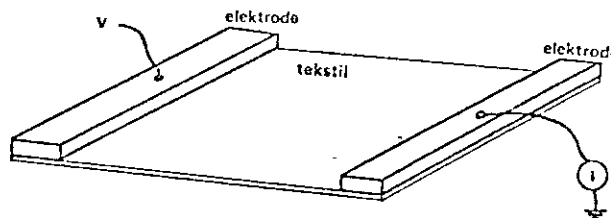
Ved en gitt måleoppstilling (f.eks. med elektrode og instrumenter som beskrevet i Appendiks 3) måles resistansen mellom elektrodene i Ω . Parameteren g beregnes ved å multiplisere med elektrodens flate (30 cm^2), og resultatet oppgis i enheten [Ωcm^2].

I DIN 54345 betegnes størrelsen g med "Auf die Fläche bezogener Durchgangswiderstand" og av andre forfattere bl.a. med "Gjennomgangsmotstand", "Spesifikk motstand" og "Resistivity".

Det er verd å merke seg at måltallet for g vokser proporsjonalt med tekstilets tykkelse. Hvis g derimot deles på tykkelsen (som i lign. Al.2) kan materialkonstanten ρ [Ωcm] beregnes. Ut i fra det nære slektsskap mellom g og ρ anser vi det norske begrepet "gjennomgangsresistivitet" som den mest dekkende betegnelse på g [Ωcm^2].

Overflatemåling av tekstilresistans

Som beskrevet i kapittel 1 er oppladningsprosessen nøye knyttet til tekstilets overflate. Ledningsegenskapene i overflatelaget lar seg imidlertid vanskelig måle isolert. Fordi volumresistansen i prøvevolumet opptrer parallelt med flateresistansen vil førstnevnte dominere målingen. Mange forfattere anvender en parameter som betegnes "overflateresistans", men som i realiteten er en blanding av resistansen i tekstilets ene overflate og tekstilets volumresistans i fiberretningen målt mellom to elektroder på samme side av tekstilet:



$$(Al.6) \quad R = \overset{\text{def}}{\text{"overflateresistans"}} = \overset{\text{def}}{\frac{V}{I}} \quad [\Omega]$$

Det er lett å vise at hvis prøvestykket er kvadratisk, vil målt overflateresistans ikke være avhengig av prøvestykkets størrelse (flate) (lign. Al.1). Derimot vil selvsagt endret tykkelse av samme tekstil påvirke måleresultatet (det strømførende tverrsnittet endres).

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{t \cdot b}$$

$$\text{Dermed } R = \rho \frac{l}{t \cdot b}$$

Dermed er overflateresistansen
 uavhengig av størrelsen på prøvestykket

Ulike forfattere har skapt stor forvirring ved å omtale størrelsen "overflateresistans" som bl.a. "surface resistivity", "spesifikk overflateresistans", "resistivity", og å oppgi resultatet av målingene i enhetene "ohm-square", "ohm-cm²", "ohmcm²", "ohm/sq" og "ohms-per-square". Det refereres altså til prøvestykkets utseende, og ikke til dets flate. I WIRA (1973) brukes begrepet "longitudinal resistivity", måleenhet "Ω", om samme størrelse.

Det er i praksis flere måter å gjennomføre overflateresistansmålingen på. Hvis tekstilet trykkes mot et godt isolerende underlag kan resistansen måles f.eks. langs et kvadratisk utskåret stykke av tekstilet. For å oppnå homogene elektriske felt og elektrostatisk avskjerming er det imidlertid bedre å anvende konsentriske ringelektroder. En slik elektrodekonstruksjon er anvendt både av Henry (1971), Wilson (1977) og DIN (1972), se skisse i Appendiks 3.

Ved anvendelse av konsentriske ringelektroder for måling av overflateresistans oppstår det umiddelbart et problem ved sammenligning mellom disse målingene og målinger med kvadratiske prøvestykker som beskrevet foran. Sirkelgeometrien og elektrodens ulike diameter medfører at strømtettheten ved indre elektrode blir større enn ved ytre. Ved integrasjon av strømtettheten over sirkelomkretsene kan det vises at måleverdien R fra de konsentriske ringelektrodene kan regnes om til en midlere verdi R' gitt av:

$$(A1.7) \quad R' = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot R = k \cdot R$$

der r_2 = ytre elektrodens indre diameter

r_1 = indre elektrodens ytre diameter

R = målt resistans mellom ringene

Verdien R' vil da på samme måte som for kvadratmetoden være uavhengig av måleelektrodens størrelse (dvs. flaten mellom ringene).

Wilson oppgir en multiplikasjonsfaktor $k = 9,06$ og inkluderer denne i sine presenterte tekstilresistansdata. Henry kommenterer

Overhodet ikke dette forholdet, og det er uklart om hans publiserte data tar i betraktning faktoren (beregnet $k = 8,57$ ut i fra hans oppgitte elektrodedimensjoner).

DIN-normen, derimot, angir overflateegenskapene bare ved den faktisk målte resistans mellom ringene i den spesielle DIN-elektroden (Appendiks 3), altså med måleenhet [Ω] eller [$G\Omega$] ($1G\Omega = 10^9 \Omega$), uten korreksjon for sirkelgeometri etter lign. (A1.5). Vi følger i denne rapporten DIN-normen og oppgir tekstilenes resistansparametre som:

(A1.8) $R_o[\Omega] =$ Overflateresistans. Resistans målt langs-
gående i tekstilets ene overflate mellom
ringene i DIN-elektroden.

$g [\Omega \text{cm}^2] =$ Gjennomgangsresistivitet. Resistans målt
gjennom tekstilflaten med DIN-elektroden,
multiplisert med DIN-elektrodens flate =
 30 cm^2 .

En sammenligning av overflateresistansdata fra DIN-elektroden med andre forfatteres data må ta i betraktning forskjellige målespenninger og elektrodetrykk. DIN-elektroden har et definert elektrodetrykk (9,81 N), mens Wilson og Henry ikke definerer elektrodetrykket nærmere enn "heavy weight".

For DIN-elektroden er faktoren $k = 19,8$. Våre måleverdier med DIN-elektroden må altså multipliseres med ca. 20 for å kunne være sammenlignbare med Wilson eller andres data (oppgitt korrekt enten i "ohms per square" eller korrigert for sirkelgeometrien etter lign. (A1.7)).

WIRA (1973) publiserer følgende summariske tabell over "antistatiske" egenskaper og overflateresistans ("longitudinal resistivity-ohms").

ANTI-STATISK RANGERING
(WIRA, 1973)OVERFLATERESISTANS
(R' etter lign. A1.7-ohm)

| | | |
|------------|---------------------|----------------------------|
| Null | $> 10^{13}$ | (> 10000 G Ω) |
| Dårlig | $10^{12} - 10^{13}$ | (1000 - 10000 G Ω) |
| Moderat | $10^{11} - 10^{12}$ | (100 - 1000 G Ω) |
| Ganske god | $10^{10} - 10^{11}$ | (10 - 100 G Ω) |
| God | $< 10^{10}$ | (< 10 G Ω) |

Al.2 Feltstyrke og personspenning

Noen forfattere oppgir oppladningen på person ved den resulterende feltstyrke mellom person og omgivelsene. Måleenhet for elektrisk feltstyrke er [V/m]. Dette er en uhensiktsmessig måleenhet fordi feltstyrken ved en gitt personspenning (i volt) er avhengig av avstanden (i meter) til stedet det måles i forhold til. Det er personens faktiske oppladningsspenning som normalt er den avgjørende parameter for utladningens ubehag og muligheten for gnistdannelse, og denne parameter er derfor valgt for å karakterisere oppladningen. Forsøkspersonens oppladningsspenninger er i denne rapporten kalt personspenninger, målt med måleutstyret beskrevet i Appendiks 4 og oppgitt i måleenheten volt.

Al.3 Personkapasitans

Begrepet kapasitans beskriver et dielektrikums evne til å lagre energi i et elektrisk felt (måleenhet er farad, men da passende prefiks er pico = 10^{-12} oppgis normalt størrelsen i pF).

Personkapasitansen er avhengig av det omgivende rommets geometri, personens avstand fra metalliske materialer og armeringsjern/elektrisk ledningsføring i bygningen, og personens skotøy.

Det omgivende rommets vegger og armaturer har en elektrisk ledningsevne som normalt er vesentlig større enn luftens eller tekstilenes, og kan betraktes som en ekvipotensiell flate. Referansepunktet for de induserte elektriske felter blir dermed rommets ekvipotensielle vegger = "jord", som i sin tur er forbundet med lysnettets "jord".

Med personkapasitans menes i denne rapporten kapasitansen mellom personens håndelektrode og et jordpunkt i en nærliggende stikkontakt når personen står 0,5 m fra en gitt laboratoriebank i prøverommet. Kapasitansen er målt med et Dataprecision modell 935 digitalt kapasitansmeter. I litteraturen (Henry, 1971; Jonassen, 1977) oppgis typiske personkapasitanser på ca. 200 pF. I våre måleresultater (Kap. 3) finnes personkapasitanser mellom 118 pF og 427 pF, med typiske verdier mellom 130 og 180 pF. De største variasjonene i personkapasitans skyldes skotøyet (sålenes materiale og tykkelse).

Al.4 Oppladningsenergi

I en kapasitans er den lagrete energi E bestemt av kapasitansen C og oppladningsspenningen V på følgende måte:

$$(A1.9) \quad E = \frac{1}{2} 10^{-9} \cdot C \cdot V^2$$

Enheter

E [mJ] = millijoule
C [pF] = picofarad
V [V] = volt

Al.5 Andre parametre

Andre parametre av interesse for karakterisering av de elektriske egenskapene i frakkene kan være

- Utladningsstrøm, eventuelt maksimal utladningsstrøm [A]
- Utladningsstrømtetthet [A/m^2]
- Tidskonstant for utladning [s]

Det er ikke undersøkt nærmere hvilken hensikt det ville ha å måle disse parametrene.

Appendiks 2

MÅLING AV LUFTENS RELATIVE FUKTIGHET

Måling av luftens relative fuktighet (RF) kan gjøres med en rekke metoder med varierende nøyaktighet. Meget utbredt er et såkalt hårhygrometer som viser relativ fuktighet ved at et menneskehår eller annet hydrofilt fiber endrer lengde avhengig av vanninnhold. Publiserte data (bl.a. Nemko, 1973) og egne målinger viser at hårhygrometre under ukontrollerte forhold kan ha store målefeil og lang innstillingstid. For seriøse målinger må derfor mer nøyaktige metoder benyttes. Ved fuktighetsmålingene i denne rapporten er det benyttet et "Aspirasjonspsykrometer" fabrikkert Hænni, der luftens relative fuktighet indirekte beregnes ved avkjøling av et vekeomtunn, vått termometer ("wet bulb") når romluften trekkes forbi ved hjelp av en urverksdrevet vifte. Lufttemperaturen måles med et tørt ("dry bulb") termometer i samme hus.

Tabellen i fig. A2.1 viser luftens metningstrykk for vanndamp fra -19°C til $+39^{\circ}\text{C}$ (isfase fra -19°C til 0°C). I området mellom 0°C og $+39^{\circ}\text{C}$ er funksjonssammenhengen mellom temperatur og fuktighet tilpasset datapunktene med et 4. grads polynom som vist nederst.

Luftens faktiske vanndamptrykk er beregnet etter psykrometerformelen i fig. A2.2 med barometertrykk fastsatt til normalverdi 760 mmHg. Med > 5 min aspirasjonstid kan beregnede fuktighetsverdier antas å være korrekt innenfor ± 2 %-enheter RF. Alle data er hentet fra CRC Handbook of Chemistry & Physics, 81. st edition, kapittel D og E, her kalt "CRC".

| Temp. °C | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 4.579 | 4.647 | 4.715 | 4.785 | 4.855 |
| 1 | 4.926 | 4.998 | 5.070 | 5.144 | 5.219 |
| 2 | 5.291 | 5.370 | 5.447 | 5.525 | 5.605 |
| 3 | 5.685 | 5.766 | 5.848 | 5.931 | 6.015 |
| 4 | 6.101 | 6.187 | 6.274 | 6.363 | 6.453 |
| 5 | 6.543 | 6.635 | 6.728 | 6.822 | 6.917 |
| 6 | 7.013 | 7.111 | 7.209 | 7.309 | 7.411 |
| 7 | 7.513 | 7.617 | 7.722 | 7.828 | 7.936 |
| 8 | 8.045 | 8.155 | 8.267 | 8.380 | 8.494 |
| 9 | 8.609 | 8.727 | 8.845 | 8.965 | 9.088 |
| 10 | 9.209 | 9.333 | 9.458 | 9.585 | 9.714 |
| 11 | 9.844 | 9.976 | 10.109 | 10.244 | 10.380 |
| 12 | 10.518 | 10.658 | 10.799 | 10.941 | 11.085 |
| 13 | 11.231 | 11.379 | 11.528 | 11.680 | 11.833 |
| 14 | 11.987 | 12.144 | 12.302 | 12.462 | 12.624 |
| 15 | 12.788 | 12.953 | 13.121 | 13.290 | 13.461 |
| 16 | 13.634 | 13.809 | 13.987 | 14.166 | 14.347 |
| 17 | 14.530 | 14.715 | 14.903 | 15.092 | 15.284 |
| 18 | 15.477 | 15.673 | 15.871 | 16.071 | 16.272 |
| 19 | 16.477 | 16.685 | 16.894 | 17.105 | 17.319 |
| 20 | 17.535 | 17.753 | 17.974 | 18.197 | 18.422 |
| 21 | 18.650 | 18.880 | 19.113 | 19.349 | 19.587 |
| 22 | 19.827 | 20.070 | 20.316 | 20.565 | 20.815 |
| 23 | 21.068 | 21.324 | 21.583 | 21.845 | 22.110 |
| 24 | 22.377 | 22.648 | 22.922 | 23.198 | 23.476 |
| 25 | 23.756 | 24.039 | 24.326 | 24.617 | 24.912 |
| 26 | 25.209 | 25.509 | 25.812 | 26.117 | 26.426 |
| 27 | 26.739 | 27.055 | 27.374 | 27.696 | 28.021 |
| 28 | 28.349 | 28.680 | 29.015 | 29.354 | 29.697 |
| 29 | 30.043 | 30.392 | 30.745 | 31.102 | 31.461 |
| 30 | 31.824 | 32.191 | 32.561 | 32.934 | 33.312 |
| 31 | 33.695 | 34.082 | 34.471 | 34.864 | 35.261 |
| 32 | 35.663 | 36.068 | 36.477 | 36.891 | 37.308 |
| 33 | 37.729 | 38.155 | 38.584 | 39.018 | 39.457 |
| 34 | 39.898 | 40.344 | 40.796 | 41.251 | 41.710 |
| 35 | 42.175 | 42.644 | 43.117 | 43.595 | 44.078 |
| 36 | 44.563 | 45.054 | 45.549 | 46.050 | 46.586 |
| 37 | 47.067 | 47.582 | 48.102 | 48.627 | 49.157 |
| 38 | 49.692 | 50.231 | 50.774 | 51.323 | 51.879 |
| 39 | 52.442 | 53.009 | 53.580 | 54.156 | 54.737 |

| Temp. °C | 0.0 | 0.2 | 0.4 |
|----------|-------|-------|-------|
| -19 | 0.854 | 0.838 | 0.822 |
| -18 | 0.939 | 0.921 | 0.904 |
| -17 | 1.031 | 1.012 | 0.993 |
| -16 | 1.132 | 1.111 | 1.091 |
| -15 | 1.241 | 1.219 | 1.196 |
| -14 | 1.361 | 1.336 | 1.312 |
| -13 | 1.490 | 1.464 | 1.437 |
| -12 | 1.632 | 1.602 | 1.574 |
| -11 | 1.785 | 1.753 | 1.722 |
| -10 | 1.950 | 1.916 | 1.883 |
| -9 | 2.131 | 2.093 | 2.057 |
| -8 | 2.326 | 2.285 | 2.246 |
| -7 | 2.537 | 2.493 | 2.450 |
| -6 | 2.765 | 2.718 | 2.672 |
| -5 | 3.013 | 2.962 | 2.912 |
| -4 | 3.280 | 3.225 | 3.171 |
| -3 | 3.568 | 3.509 | 3.451 |
| -2 | 3.880 | 3.816 | 3.753 |
| -1 | 4.217 | 4.147 | 4.079 |
| 0 | 4.579 | 4.504 | 4.431 |

IS-FASE

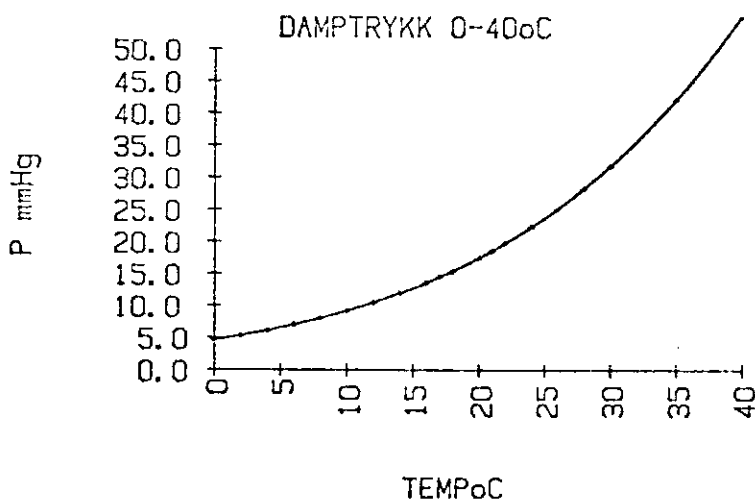
$$a_0 = 4,59$$

$$a_1 = 3,21 \cdot 10^{-1}$$

$$a_2 = 1,27 \cdot 10^{-2}$$

$$a_3 = 9,16 \cdot 10^{-5}$$

$$a_4 = 4,6 \cdot 10^{-6}$$



$$P[\text{mmHg}] = a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

Fig. A2.1 Vanndampmetningstrykk (Fra CRC). Vanndamptrykket som funksjon av temperaturen er for temperaturer mellom 0 og +39°C tilpasset med et 4.grads polynom. For temperaturer < 0°C er vanndampens metningstrykk i forhold til en isflate oppgitt. Dette er ikke det samme som i forhold til underkjølt vann.

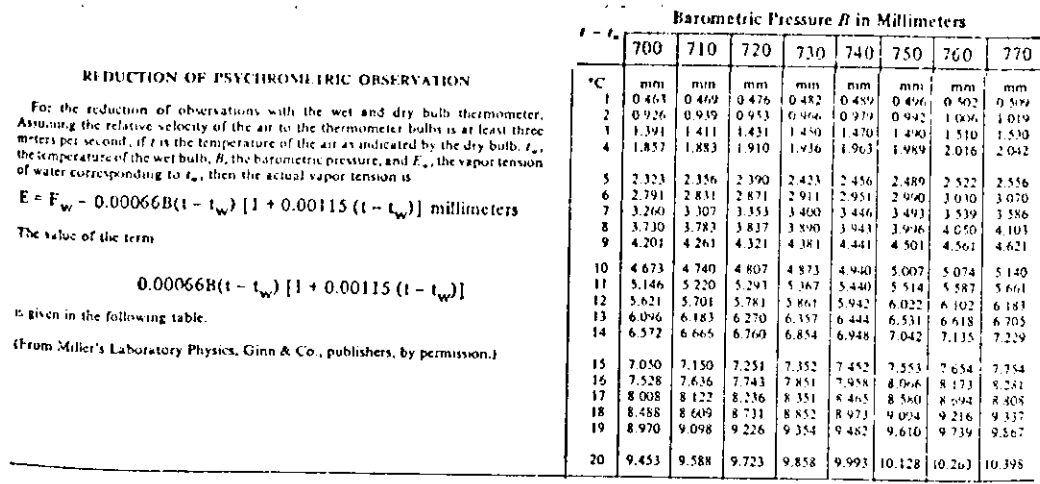


Fig. A2.2 Psykrometerformelen for luftens absolute vanndamptrykk (Fra CRC).

Appendiks 3

MÅLING AV TEKSTILERS RESISTANSPARAMETREA3.1 DIN 54345 - "Prüfung von Textilien"

DIN 54345 normerer målebetingelsene med en elektrode av gitt utforming, vekt og flate, se fig. A3.1. Når måling på garn og tråd unntas er det to parametre som spesifiseres - overflate-resistans med den spesielle DIN-elektroden og beregnet materialkonstant gjennomgangsresistivitet, g , se definisjon i Appendiks 1.

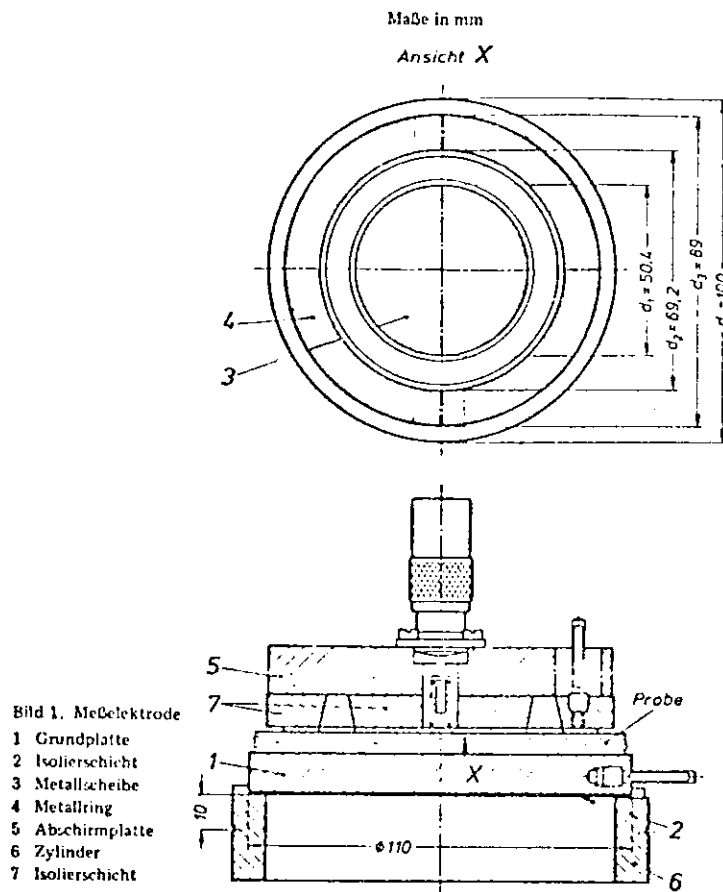


Fig. A3.1 Utforming av måleelektrode, utdrag fra DIN 54345. Med de viste dimensjoner trykkes elektroden mot tekstilet ("Probe") med en kraft på 9,81N. Arealet av senterplaten (3) er egentlig 28,1 cm². Det er noe uklart hvordan feltlinjene går i kantene og DIN avrunder derfor arealet til $A = 30$ cm².

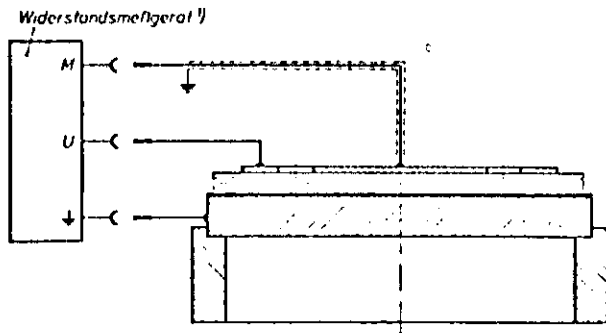


Bild 2. Schaltung zur Messung des Oberflächenwiderstandes

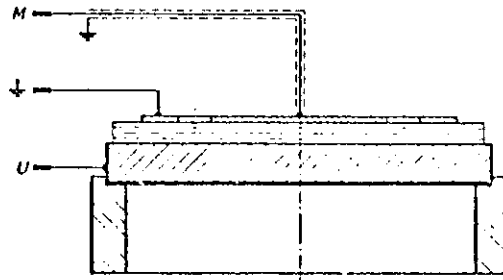
OverflateresistansMåleverdi: $R [\Omega]$ Oppgis som $R_0 [\Omega] = R$ 

Bild 3. Schaltung zur Messung des Durchgangswiderstandes von textilen Flächegebilden

GjennomgangsresistivitetMåleverdi: $R [\Omega]$ Oppgis: $g = 30 \cdot R [\Omega \text{ cm}^2]$

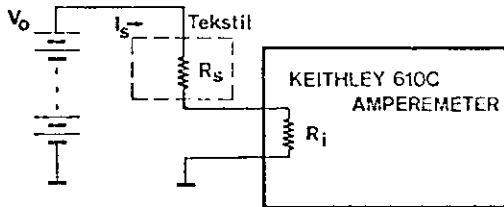
Som vist i tabellene i avsnitt 3.1 er det ikke målt resistansverdier $> 1,1 \cdot 10^{14} \Omega (= 1,1 \cdot 10^5 \text{ G}\Omega)$.

Ved store resistansverdier ($> 10^{12} \Omega$) legges tekstil og måle-elektrode i en lukket metallkuffert for elektrostatisk skjerming. DIN-normen spesifiserer ikke i detalj hvilket høy-ohm måleinstrument som skal anvendes. I denne undersøkelsen er det anvendt et Keithley 610C Electrometer (som nA-meter) og en Hewlett Packard 6920B Meter Calibrator spenningskilde innstilt på 100V likespenning. Målespenningen er normert til 100V i utgangspunktet, men i DIN-normen påpekes at for særskilt høye resistansverdier kan 1000 V målespenning benyttes.

A3.2 Keithley 610C som nA-meter

Måleinstrumentets indresistans påvirker strømmålingen med sin belastningsspennning ($R_i \cdot I_s$). Uten feedback ("NORMAL") er inngangsresistansen den inverse verdi av måleområdet. Med feedback ("FAST") er belastningsspennningen neglisjibel på alle områder ($< 100 \mu\text{V}$).

| Måleområde I (A) | "NORMAL" $R_i (\Omega)$ | "FAST" $R_i (\Omega)$ |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| 10^{-2} A | 10^2 | 0 |
| 10^{-3} | 10^3 | 0 |
| 10^{-4} | 10^4 | 0 |
| 10^{-5} | 10^5 | 0 |
| 10^{-6} | 10^6 | 0 |
| 10^{-7} | 10^7 | 0 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |



$$(A3.1) \quad I_s = \frac{V_0}{R_s + R_i} \Rightarrow R_s = \frac{V_0 - R_i I_s}{I_s}$$

De fleste målingene er foretatt med elektrometeret i "FAST"-mode. Tidskonstant for innstilling er da alltid $< 2 \text{ s}$ og måleverdiene er avlest etter $> 20 \text{ s}$.

Ligning (A3.1) er programmert på en HP-41CV kalkulator og resistans måleverdiene skrives ut som vist i eksemplet i avsnitt A3.3.

A3.3 Test av DIN-elektrodens isolasjon

I DIN-normen er det ikke oppgitt hvilket isolerende plastmateriale som er anvendt, bare at det skal være "hochisolierend". Vår elektrode er utstyrt med et 1 mm tykt lag av Akryl (polyakrylat, av ukjent fabrikat) limt fast med en epoksyhinne ("Araldit").

Isolasjonen i elektroden er testet ved at ringelektroden er lagt rett på plastskiven og måling av resistans foretatt. Utskriftene under viser målt overflateresistans og gjennomgangsresistivitet.

Overflateresistans

Gjennomgangsresistivitet

Målt:

$$I = 0,005 \cdot 10^{-11} \text{ A}$$

Beregnet etter lign. (A3.1):

Målt:

$$I = 0,05 \cdot 10^{-11} \text{ A}$$

Beregnet etter lign. (A3.1):

```
FRAGNETEST
DATE 21.07.87
RF = 25. %
SIØKR.FAST
OVERFLATE
V= 100. R= 2.0+15
*R= 2.0+15 Ω
*****
```

```
FRAGNETEST
DATE 21.07.87
RF = 25. %
SIØKR.FAST
GJENOMGANG
V= 100. R= 2.0+14
*R= 5.0+15 Ωcm
*****
```

Fra gjennomgangsresistansmålingen kan plastens resistivitet (se Appendiks 1) da beregnes til:

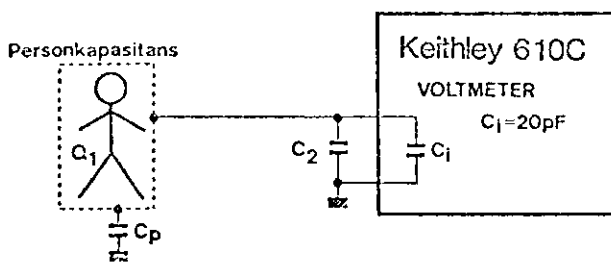
$$\rho = \frac{A}{l} \cdot R = 6 \cdot 10^{16} \text{ } \Omega \text{ cm} \quad (A = \text{elektrodeareal } 30 \text{ cm}^2, \\ l = \text{plasttykkelse } 0,1 \text{ cm})$$

I CRC handbook side 4-29 er resistiviteten til en akryltype (ikke oppgitt fabrikat) oppgitt til $2 \cdot 10^{16} \text{ } \Omega \text{ cm}$. På grunn av variasjoner mellom fabrikantene er forskjellen mellom målt og oppgitt resistivitet neppe signifikant. Da tekstilenes målte resistans normalt er flere størrelsesordner lavere enn akrylplatens resistans, gir måleutstyret i de fleste tilfeller resistansverdier med forventet nøyaktighet langt bedre enn 1%. Dårligst nøyaktighet (men likevel bedre enn 5%) forventes ved de absolutt laveste relative fuktigheter og de best isolerende tekstiler.

Appendiks 4

MÅLING AV PERSONSPENNINGER

For måling av personspenning, dvs. oppladningsspenning på person i bevegelse, opereres det i DIN 54345 med to forskjellige metoder som begge krever vanskelig realiserbare mekaniske konstruksjoner. Metode A i DIN-normen benytter en kapasitiv spenningsdeler, metode B er en "ladningsoverføringsmetode". Vi har anvendt en tillempning av metode B (som også er ekvivalent til metoden i Jonassen, 1977):



C_i = inngangskapasitans i
Keithly 610C
Electrometer Voltmeter

C_2 = målekondensator

C_p = personkapasitans mot
omgivelse

Q_1 = generert ladning uten
voltmeteret tilknyttet.

Personkapasitansen C_p måles med Dataprecision modell 935 digitalt kapasitansmeter mellom en berørt metallhåndeletrode og jordtilslutningen i en nærliggende stikkontakt (dvs. at referansepunkt = ekvipotensialjord i bygningen).

Ved måling av personspenninger holder forsøkspersonen en håndeletrode (stål, \varnothing 20 mm) tilknyttet voltmeteret som vist. Voltmeteret indikerer oppladningsspenningen på parallellkoplingen av målekondensatoren C_2 og indrekapasitansen C_i .

Ved oppladning av personen opptrer alle kapasitanser i figuren i parallell og ladningen som genereres er uttrykt ved:

$$(A4.1) \quad Q_2 = (C_p + C_i + C_2) \cdot V_i; \text{ når } V_i \text{ er indikert spenning.}$$

Hvis den samme ladning blir generert og lagret i personkapasitansen alene (dvs. uten måleinstrumentet tilknyttet), er personspenningen og ladningen tilsvarende knyttet sammen

$$(A4.2) \quad Q_1 = C_p \cdot V_p$$

Siden $Q_1 = Q_2$ følger det at (beregnet) faktisk personspenning da vil være

$$(A4.3) \quad V_p = \left(\frac{C_p + C_i + C_2}{C_p} \right) V_i$$

Det benyttes 3 valgbare målekondensatorer slik at delingsforholdet blir omtrent 10, 100 eller 1000.

Utmålte kapasitansverdier for målekondensatorene er

$$C_{2,10} = 1851 \text{ pF}; \quad C_{2,100} = 19880 \text{ pF}; \quad C_{2,1000} = 200000 \text{ pF}$$

$C_i = 20 \text{ pF}$ (Elektrometerets inngangskapasitans).

Typiske personkapasitanser er $C_p = 120 - 160 \text{ pF}$.

Tynne, høyisolerende skosåler øker personkapasitansen vesentlig (opptil 500 pF målt), se også kapittel 3.

I reise- og gåprøvene beskrevet i kapittel 2, er indikerte spenninger på voltmeteret regnet om til personspenninger i henhold til lign. (A4.3) og oppgitt som enten V_r eller V_w i tabellene.

Ulempen med denne ladningsoverføringsmetoden er at voltmeteret ikke gir et korrekt bilde av utladningen av forsøkspersonen (i motsetning til DIN-normens metode A). Målekondensatorene er fra 10 - 100 ganger større enn personkapasitansen, og etter oppladning beholdes ladningen vesentlig lengere enn hvis bare personkapasitansen lades opp.

Halveringstiden for personspenning (omtales i DIN-normen), som gir et uttrykk for skosålenes isolasjon, er derfor ikke målt i denne rapporten.

Vi har i kapittel 1 omtalt materialer med utladningstid $< 1s$ som ikke-statiske. Den enkle sammenhengen mellom personkapasitans, utladningsresistans og tid ($C \cdot R = \text{tid}$) gir da at for personkapasitans $< 200 \text{ pF}$ vil en utladningsresistans $< 5 \text{ G}\Omega$ (gjennomgående i sko og gulv) virke anti-statisk, dvs. at genererte ladninger lades ut på mindre enn 1 sekund.

Appendiks 5

GNISTUTLADNING OG EKSPLOSJONSFARE

Det er betydelig energi tilgjengelig ved gnistutladning av elektrostatisk oppladete personer. Lagret energi er som beskrevet i lign. (A1.9) avhengig av personkapasitans og kvadratisk avhengig av personspenning.

Tennenergi for ulike gasser er blant annet avhengig av gassenes blandingsforhold med oksygen, gassenes temperatur og kontaktflatenes utforming.

Henry (1971) har gjort utladningstester i spesielle prøvekamre og finner at for en blanding av mettede hydrokarboner og 45 % O_2 må testspenningen være $> 2,8$ kV (svarende til 0,78 mJ lagret energi i hans apparat) for at minst én av 10 forsøk gir antennelse. Han foreslår en mulig faregrense ved 0,2 mJ lagret og 2,8 kV personspenning.

Både Henry og senere Wilson (1977) gir visse betraktninger om farlig gnistutladning og tekstilets resistansparametre. Begge foreslår en maksimal overflateresistans på ca. $10^{11} \Omega$ ("Ω per square"). Et slikt valg av overflateresistans som avgjørende parameter er i strid med våre data som presentert i avsnitt 4.1. Det er der vist at det er parameteren gjennomgangsresistivitet ved 30 % relativ fuktighet som best korrelerer med maksimale personspenninger ved reiseprøvene. Som påpekt i Appendiks 1 kan resistansdata målt med ulike elektroder ikke sammenlignes direkte, men oversatt til DIN-elektroden vil en grense for overflateresistans på $10^{11} \Omega$ per square" være lik maksimalt målt 5 GΩ overflateresistans med DIN-elektroden. Som vist i måleresultatene i avsnitt 3.1 er det ingen av de undersøkte frakkene som vil tilfredsstillende et slikt krav ved de relative fuktigheter det er målt i. Bomullsfrakken (nr. 2) er "like ved", og vil ved 59 % RF tilfredsstillende kravet (se også tabell 3.2.1). Dette er i overensstemmelse med Wilson, som oppgir minst 55 % RF for at rene bomullsfrakker skal tilfredsstillende resistanskravet. De fleste andre tekstiler må opp i urimelig høy relativ fuktighet (70-80 % RF) før overflate-resistansen faller under grenseverdien.

Antatt minste antennelsesenergi for typiske løsningsmidler og gasser i bruk ved Rikshospitalets Klinisk kjemiske avdeling er ført opp i tabell A5.1. Målte oppladningsenergier for de undersøkte frakker er presentert i tabellene i kapittel 3. Se også kommentarene i kapittel 4 og i Appendiks 1.

Vi baserer oss på Henry og Wilsons foreslåtte normalgrense på 0,2 mJ lagret energi, men må påpeke at for noen mindre hyppig forekommende gasser er faregrensen vesentlig lavere; 0,02 mJ.

Tabell A5.1 ANTATT MINSTE ANTENNELSESENERGI - VANLIGE
GASSER I BRUK VED KLINISK KJEMISK AVDELING

| Gass | | Brennbar blanding i luft (vol. %) 20 - 25°C * | Nødvendig minste tennenergi (mJ) ** |
|--------------|----------------------------|---|---|
| Propan | C_3H_8 | 2,1 - 9,4 | 0,2 - 0,3 |
| Acetylene | C_2H_2 | 2,5 - 80 | 0,02 |
| Metanol | CH_3OH | 6,7 - 36,5 | 0,2 - 0,3 |
| Etanol | C_2H_5OH | 3,3 - 19,0 | 0,5 - 1,0 |
| Isopropanol | C_3H_7OH | 2,0 - 11,8 | 0,5 - 1,0 |
| Dietyl ether | $C_4H_{10}O$ | 1,8 - 36,5 | 0,2 - 0,3 |
| Petrol ether | C_5H_{12} og C_6H_{14} | 1,2 - 7,8 | 0,2 - 0,3 |
| Acetone | C_3H_6O | 2,5 - 12,8 | 0,5 - 1,0 |
| Hydrogen | H_2 | 4,0 - 74,2 | 0,019 - 0,02 |

* Fra Handbook of Chemistry & Physics 54th ed p. D85.

** Fra Statens sprengstoffinspeksjon, personlig kommunikasjon.

Normalgrense for mulig antennelse: 0,2 mJ
(Henry, 1973; Wilson, 1977).