

# Tiltak for reduksjon av termisk stress og økt arbeidskomfort hos smelteverksarbeidere

Et felt- og laboratoriestudie

**Nora Sunde**

MSc in Biology

Innlevert: mai 2017

Hovedveileder: Randi Eidsmo Reinertsen, IBI

Medveileder: Mariann Sandsund, SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for biologi



## FORORD

Denne masteroppgaven er blitt skrevet ved Institutt for biologi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU, i samarbeid med SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse i Trondheim. Oppgaven er inngått som en del av forskningsprosjektet ”Fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere”, finansiert av Norges forskningsråd, og med Industriskinn AS som prosjektansvarlig bedrift.

Lange dager i felt, tresifrede antall timer i Arbeidsfysiologisk laboratorium, hundrevis av timer lagt ned i skriving, litteratursøk og databearbeiding, en del frustrasjon, men også stort pågangsmot og optimisme. Alt dette har ledet frem til den ferdige masteroppgaven du nå holder foran deg. Mesteparten har jeg klart alene, men en stor takk må også rettes til de rundt meg som har ledet og motivert meg gjennom det hele:

Først og fremst ønsker jeg å takke min hovedveileder, professor og Forskningsdirektør – Helse og velferd i SINTEF, Randi E. Reinertsen, som introduserte meg til fagfeltet temperaturregulering og muligheten til å skrive en oppgave med forskning for praktisk relevans. Takk for gode råd og formidabel faglig veiledning. En stor takk rettes til min faglige veileder og Seniorforsker ved avdeling Helse i SINTEF, Mariann Sandsund, for tett og god oppfølging fra start til slutt, både for det praktiske og faglige. Din hjelp og støtte har vært uvurderlig! Tusen takk også til Forsker Øystein Wiggen ved avdeling Helse i SINTEF for utrolig god hjelp til opplæring og praktisk gjennomføring ved oppstart av både felt- og laboratoriestudien.

En stor takk til de frivillige forsøkspersonene som deltok i prosjektet og som gjorde det hele gjennomførbart; smelteverksarbeiderne ved Elkem Thamshavn AS som deltok i feltstudien, og de spreke NTNU-studentene som deltok i laboratoriestudien og ofret en god del svette.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke min familie og venner for oppmuntring og deres evne til å få meg på andre tanker underveis. Spesielt ønsker jeg å takke mine medstudiner Maren Trones Christiansen og Kristine Blomvik Dyb for sosial boost, utallige møter ved kaffemaskinen og for å ha arbeidet tett ved min side og støttet meg de siste to årene.

Nora Sunde, Trondheim, mai 2017

## SAMMENDRAG

**Bakgrunn:** Norske smelteverksarbeidere blir i tappeområdet utsatt for periodevis svært høye temperaturer, varmestråling og fare for metallsprut. Ingen studier har undersøkt effekten av kalde og varme årstider på utvalgte fysiologiske parametere og opplevd varmessress hos smelteverksarbeidere i tappeområdet. Det er et stort forbedringspotensial i eksisterende vernebekledning for smelteverksarbeiderne, og det finnes ingen standardiserte avkjølingsmetoder i pauser. **Mål:** Målet med feltstudien var å utvikle ny kunnskap om varmebelastning hos smelteverksarbeidere i tappeområdet vinter og sommer, samt å innhente kunnskap for utarbeidelse av en testprotokoll for en påfølgende kontrollert laboratoriestudie. Det er blitt utviklet en ny prototype vernebekledning for smelteverksarbeidere i tappeområdet, og det er derfor av interesse å sammenligne denne mot dagens vernebekledning for å undersøke termisk stress og komfort, samt å undersøke effekt av avkjølingsmetode i form av vifte i pauser. **Metode:** Feltstudien bestod av tre dager ved Elkem Thamshavn AS vinter og sommer der det ble gjort målinger av omgivelser og av fysiologiske parametere, samt subjektive evalueringer av termisk fornemmelse og komfort. Syv arbeidere deltok om vinteren og seks arbeidere deltok om sommeren. I laboratoriestudien gjennomførte ti unge menn en testprotokoll i 25°C og 35% RH med dagens vernebekledning, ny prototype, og ny prototype i tillegg til vifte som avkjølingsmetode under hvile. Protokollen bestod av gange på tredemølle med vekslende perioder med ytterligere varmestråling fra en varmestrålings-rigg, og hvileperioder med avkjøling. Det ble utført målinger av utvalgte fysiologiske, subjektive og fysiske parametere. **Resultat:** En høy grad av varmessress ble registrert om sommeren, mens en lav grad av varmessress ble registrert om vinteren hos smelteverksarbeiderne i felt. Det ble målt en signifikant lavere svetteakkumulering ved bruk av ny prototype sammenlignet med dagens vernebekledning. Det var ingen signifikante forskjeller i de målte fysiologiske parameterne mellom de to beklledningstypene. Avkjøling ved bruk av vifte i hvile mellom arbeidsperioder resulterte i signifikante forskjeller i svetteakkumulering, hudtemperaturer, subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort, samt for mikroklima på innside av beklledning. **Konklusjon:** Smelteverksarbeidere i tappeområdet blir svært varmessresset om sommeren, men ikke om vinteren, selv ved en stor varmestrålingseksposering fra smelteovner som holder 1600°C. Bruk av ny prototype viste signifikant lavere svetteakkumulering sammenlignet med dagens vernebekledning, men ingen signifikante forskjeller i de fysiologiske parameterne ble registrert. Avkjøling med vifte under hvile resulterte i en signifikant redusert svetteakkumulering, og viste samtidig en pre-coolingeffekt ved registrering av signifikant lavere gjennomsnittlig hudtemperatur, hudtemperatur på rygg, temperatur i mikroklima under beklledning, samt positiv effekt på følelse av våthet på hud og foretrukket omgivelsestemperatur de påfølgende 20-40 minuttene etter avkjøling.

## SUMMARY

**Background:** Norwegian workers in the smelting industries are periodically exposed to high temperatures, radiant heat and metal splashes. No previous studies have investigated the effect of cold and warm seasons on perceived heat stress in smelting workers in the tapping areas. The current protective clothing for this work group shows great potential in improvement and there is no existent standardized cooling methods in work breaks. **Aim:** The aim of the field study was to expand our knowledge of heat stress in smelting workers in the tapping area during winter and summer and to retrieve information to produce a test protocol for the subsequent laboratory study. A new prototype has been developed for the smelting workers in the tapping area, and it is therefore of interest to compare this to the existing protective clothing to investigate thermal stress and comfort, together with the consideration of the use of fans as a cooling method in work breaks. **Method:** The field study consisted of three days at Elkem Thamshavn AS in the winter and in the summer. Measurements of physiological parameters and subjective evaluations of perceived thermal sensation and comfort were conducted. Seven workers participated in the winter and six workers participated in the summer. Ten young men participated in the laboratory study where a test protocol at 25°C og 35% RH was conducted while wearing existing protective clothing, new prototype and new prototype in combination with fans as cooling method during rest. The protocol consisted of walking on a treadmill with alternating periods of additional radiant heat from an external heat radiation source, and rest periods with cooling. Measurements of selected physiological, subjective and physical parameters were conducted. **Results:** A high level of heat stress was measured in the summer while a low level of heat stress was measured in the winter in the smelting workers in the field study. A significant lower sweat accumulation in the clothing was measured while wearing the new prototype compared to the existing protective clothing. No significant differences were measured in the physiological parameters when comparing the two types of protective clothing. Fan as a cooling method in between work periods resulted in significant differences in sweat accumulation, skin temperatures, subjective evaluation of perceived thermal sensation and comfort, and in the microclimate underneath the protective clothing. **Conclusion:** Workers in the tapping area in the smelting industry is heat stressed in the summer but not in the winter, even when exposed to radiant heat from smelting ovens at 1600°C.

Using the new prototype showed significant lower sweat accumulation compared with the existing protective clothing, but no significant differences were found in the physiological parameters. Cooling by using a fan during rest resulted in a significant reduced sweat accumulation, and showed at the same time a pre-cooling effect by measuring significant lower skin, and back temperature, temperature in the microclimate under the clothing, and a positive effect on perceived skin wettedness and preferred surrounding temperatures in the 20-40 minutes following cooling.

(Blank side)

## FORKORTELSER

<b>Symbol</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Benevning</b>
Clo		
Hf	Hjertefrekvens	Slag·min <sup>-1</sup>
Hf <sub>peak</sub>	Maksimal hjertefrekvens	Slag·min <sup>-1</sup>
RH	Luftfuktighet	%
T <sub>a</sub>	Omgivelsestemperatur	°C
T <sub>bryst</sub>	Brysttemperatur	°C
$\bar{T}_{\text{hud}}$	Gjennomsnittlig hudtemperatur	°C
T <sub>kjerne</sub>	Rektaltemperatur	°C
T <sub>rygg</sub>	Ryggtemperatur	°C
VO <sub>2</sub>	Oksygenopptak	L·min <sup>-1</sup> , mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>
VO <sub>2maks</sub>	Maksimalt oksygenopptak	L·min <sup>-1</sup> , mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>

# INNHALDSFORTEGNELSE

1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Temperaturregulering og varmebalanse .....	1
1.3 Fysiologiske responser til varmeeksponering.....	3
1.4 Arbeid i varme omgivelser og varmestress .....	4
1.5 Vernebekledning sin innvirkning på kroppens varmebalanse i varme omgivelser .....	5
1.6 Bakgrunn for valg av studie.....	6
1.7 Mål og hypoteser .....	9
1.7.1 Feltstudie .....	9
1.7.2 Laboratoriestudie .....	10
2 METODE.....	1
2.1 Feltstudie .....	11
2.1.1 Forsøkspersoner.....	11
2.1.2 Forsøksprotokoll.....	12
2.1.3 Bekledning.....	13
2.1.4 Målinger og utstyr .....	14
2.2 Laboratoriestudie .....	16
2.2.1 Forsøkspersoner.....	16
2.2.2 Inklusjon- og avbruddskriterier .....	17
2.2.3 Testprotokoll.....	17
2.2.4 Bekledning.....	22
2.2.5 Utstyr og målinger .....	23
2.3 Statistikk og dataanalyse .....	26
2.3.1 Feltstudie .....	26
2.3.2 Laboratoriestudie .....	26
3. RESULTATER.....	28
3.1 Feltstudie .....	28
3.1.1 Kjernetemperatur .....	29
3.1.2 Hudtemperatur .....	30
3.1.3 Hjerterefrekvens .....	30
3.1.4 Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort .....	31



3.2 Laboratoriestudie .....	32
3.2.1 Rektaltemperatur .....	32
3.2.2 Gjennomsnittlig hudtemperatur .....	32
3.2.3 Hudtemperatur på bryst .....	33
3.2.4 Hudtemperatur på rygg .....	34
3.2.5 Hjerterefrekvens .....	35
3.2.7 Oksygenopptak .....	36
3.2.6 Væsketap .....	37
3.2.8 Temperatur mellom inner- og ytterbekledning .....	37
3.2.9 Relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledning .....	39
3.2.10 Svetteakkumulering i bekledning .....	41
3.2.11 Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort .....	42
4 DISKUSJON .....	46
4.1 Feltstudie .....	46
4.2 Laboratoriestudie .....	46
4.2.1 Vernebekledningen (A versus B) .....	47
4.2.2 Metode for avkjøling (A versus C) .....	55
5 KONKLUSJON OG VIDERE STUDIER .....	59
5.1 Feltstudie .....	59
5.2 Laboratoriestudie .....	59
5.3 Fremtidige studier .....	59
6 REFERANSER .....	61
7 VEDLEGG .....	72

# **1 INTRODUKSJON**

## **1.1 Bakgrunn**

Smelteverksindustrien er blant de mest tradisjonsrike kraftkrevende industriene i Norge og sysselsetter mange arbeidere. Det finnes en rekke smelteverk fordelt over landet, og industrien er viktige produsenter av råmaterialer som videre kan benyttes i produksjon av silikon og legeringselement til aluminium. Fremstillingsprosessen av råmaterialene skjer i store smelteovner, og de som arbeider i tappeområdene blir periodevis utsatt for svært høye temperaturer, fare for metallsprut og kraftig varmestråling fra smeltet metall som holder temperaturer på opptil 1600°C. Slike arbeidsmiljø innebærer en økt risiko for skader og ulykker, og personlig vernebekledning som beskytter mot varmestråling og smeltet metall er nødvendig for å forhindre dette (Crown og Dale, 2005; Mäkinen et al, 2008). Arbeidsoppgavene utført av denne yrkesgruppen karakteriseres av fysisk krevende oppgaver med krav om rask beslutningstaking og manuell presisjon. Typisk vernebekledning for smelteverksarbeidere består av flammehemmende, varmebeskyttende og isolerende materialer, som oftest av skinn, og total vekt er rundt 6 kg. Den additive vekten av vernebekledningen fører i seg selv til økt arbeidsbelastning (Dorman og Havenith, 2009), som sammen med eksponering av varme fra omgivelsene igjen kan føre til økt kroppstemperatur over komfortable verdier og generelt ubehag hos brukerne. Dette er vist i tidligere studier med bruk av isolerende vernebekledning for brannmenn i varme omgivelser (Duncan et al., 1979; Rossi, 2003; Sandsund et al. 2005; Petruzello et al., 2009; Larsen et al., 2015). Selv om hovedprioriteten for vernebekledning i smelteverksindustrien er å beskytte mot varmeeksponering fra omgivelsene, fører bekledningens egenskaper samtidig til en forhindring av metabolsk varmetap som er viktig for avkjøling av kroppen og opprettholdelse av kroppens varmebalanse. Varmestress, tilstanden der kroppen ikke får kvittet seg med tilstrekkelig varme og kroppens kjernetemperatur øker som følge av dette, er derfor en kjent utfordring for brukere av slik vernebekledning i arbeidsmiljø med høy grad av varmeeksponering (Cheung et al., 2000; Holmér, 2006; Taylor et al., 2012).

## **1.2 Temperaturregulering og varmebalanse**

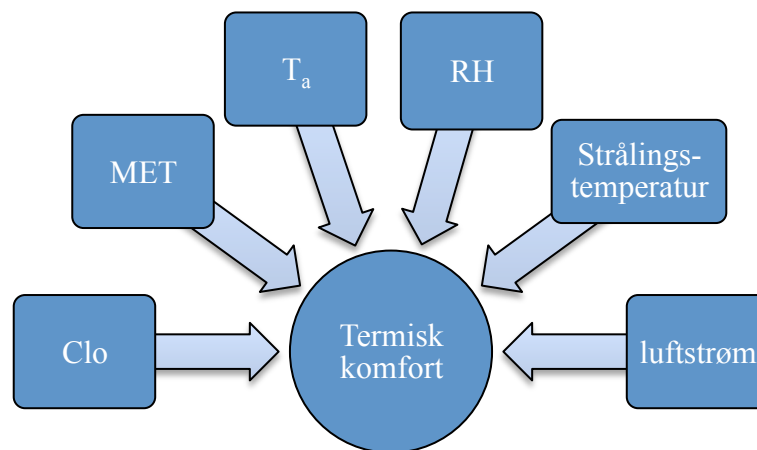
For at kroppens cellulære og biokjemiske prosesser skal fungere optimalt kreves det at et stabilt indre miljø opprettholdes (homeostase). En viktig del av å opprettholde homeostase er kroppens temperaturregulering. Temperaturreguleringen er en intern regulatorisk mekanisme

som styres av hypothalamus lokalisert i hjernen og dens funksjon er å opprettholde en kjernetemperatur innenfor et smalt temperaturområde, selv under store svingninger i omgivelsestemperatur (Werner, 1988; Jessen, 2001; Mekjavic og Eiken, 2006). Hos mennesker reguleres normalt kjernetemperaturen rundt 37°C, med en døgnlig variasjon på ± 0,5-0,7°C (Campbell og Broughton, 1994; Brown et al., 2000; Kräuchi et al., 2000). Parsons (2014) definerer komfortabel kjernetemperatur å være 36,8°C. Temperaturreguleringen skjer ved at hypothalamus regulerer balansen mellom varmeproduksjon og utveksling av varme til omgivelsene. Signaler om temperaturforandringer fra temperatursensitive reseptorer sentralt i hjerne og ryggmarg, i kroppskjernen og i perifere deler av kroppen, mottas av temperaturreguleringssenteret hypothalamus som prosesserer denne informasjonen og deretter kan igangsette ulike fysiologiske effektormekanismer som fører til at temperaturen øker eller reduseres (Bligh, 1973). Dette er kjent som opprettholdelse av kroppens varmebalanse og påvirkes både av kroppens egen varmeproduksjon (termogenese) som følge av metabolisme og fysisk aktivitet, samt mekanismer som påvirker varmeutvekslingen med omgivelsene (Webb, 1995). Varmebalansen kan enkelt defineres ved følgende ligning (ligning 1) (Parsons, 2014):

$$S = M - W - (\pm E) - (\pm R) - (\pm C) - (\pm K) \quad (1)$$

S betegner kroppens varmelagring, M - W er alltid positiv og betegner metabolsk varmeproduksjon (M) minus energiforbruk ved mekanisk arbeid (W). De resterende komponentene utgjør de fire mekanismene for varmeutveksling mellom kroppen og omgivelsene; fordamping (E), stråling (R), konveksjon (C) og konduksjon (K) som kan være positive eller negative. Positive verdier betyr tap av varme fra kroppen og negative verdier betyr absorpsjon av varme i kroppen. Når S=0 vil kroppen være i varmebalanse. Retningen og hastigheten av varmeutvekslingen mellom kroppen og omgivelsene via stråling, konveksjon og konduksjon avhenger av temperaturgradienter mellom hud og omgivende luft eller overflater, konduktansen til mediene (luft, hud, vann), samt avstanden og overflatearealet hvor varmeutvekslingen skjer (Gagge og Gonzales, 1996). Hastigheten av konvektiv varmeutveksling er i tillegg avhengig av vindhastighet og strømningshastighet i henholdsvis vind og vann. Konduksjon, konveksjon og stråling utgjør kroppens tørre varmetap. Den siste mekanismen for varmeoverføring er fordamping og avhenger av en gradient mellom vandamptrykk ved hudoverflaten og det i luften, og påvirkes derfor i stor grad av luftens relative fuktighet (RH).

Når kroppen er i varmebalanse, vil en være i en termisk likevekt og føle seg termisk komfortabel. Termisk komfort er i den internasjonale standarden ISO 7730 definert som tilstanden der en føler seg tilfreds med sitt omgivende termiske miljø. Definisjonen er noe de fleste kan kjenne seg igjen i, men dette subjektive begrepet er vanskelig å kunne kvantifisere fra fysiologiske parametere alene. ISO 7730 definerer seks ulike variabler som ansees å sammen bidra til følelsen av termisk komfort, og som kan deles inn i subjektive faktorer og omgivelsesparametere. Subjektive faktorer viser her til isolasjonsverdi av bekledning (Clo) og metabolsk rate (MET). Omgivelsesparametere viser her til omgivende lufttemperatur ( $T_a$ ), luftstrøm, relativ luftfuktighet (RH) og strålingstemperatur. En oppsummering av disse variablene er skjematisk fremstilt i Figur 1.1.



**Figur 1.1.** Skjematisk fremstilling av de seks variablene som bidrar til termisk komfort i henhold til ISO 7730: Isolasjonsverdi av bekledning (Clo), metabolsk rate (MET), temperatur i omgivende luft ( $T_a$ ), relativ luftfuktighet (RH), strålingstemperatur og luftstrøm.

### 1.3 Fysiologiske responser ved varmeeksponering

Ved eksponering til omgivelsestemperaturer høyere enn kroppstemperatur hvor varmen fra omgivelsene absorberes ved hudoverflaten (varmelagringen,  $S$ , er større enn varmetap), vil den absorberte varmen enten lagres i de ytre hudlagene eller bli transportert videre inn til kroppskjernen via konduksjon, og konveksjon gjennom blodstrømmen. For å opprettholde varmebalansen og en stabil kjernetemperatur i varme omgivelser, må derfor mengden produsert og absorbert varme tilsvare mengde varmetap. Dersom omgivelsesforholdene forhindrer tilstrekkelig varmetap, vil dette forskyve varmebalansen (mot positiv  $S$  i ligning 1) og føre til en økt hudtemperatur, som igjen vil føre til økt kjernetemperatur (Cheung et al.,

2000; Richardson, 2001; Duncan et al., 1979; Mekjavic og Eiken, 2006). En slik forskyvning av varmebalansen over lengre tid der det skjer en økning i kjernetemperaturen over normale verdier, kalles hypertermi (Bligh, 1973; Jessen, 2001). Som respons på økt kjernetemperatur over normal temperatur vil det igangsettes varmekvittingsmekanismer for å avkjøle kroppen ved å avgi varme først via de tre prinsippene for tørt varmetap. Vasodilatasjon vil gi økt blodgjennomstrømning til huden og lede varme konduktivt og konvektivt fra kroppens kjerne ut til hudoverflaten hvor varmeutvekslingen skjer ved konduksjon, konveksjon eller stråling. I varme omgivelser vil hjertefrekvensen øke som respons på vasodilatasjon og det økende behovet for blodtilførsel til ytre vev for varmeavgivelse. Tørt varmetap utgjør varmeutvekslingen mellom kropp og omgivelser inntil terskelpunktet for kapasiteten til vasodilatasjon er nådd for å kunne forsvare en stabil kjernetemperatur (dette varierer med omgivelsestemperaturer), og i respons på dette vil kroppens mest effektive metode for varmekvitting, utskillelse og fordamping av svette fra hudoverflaten, igangsettes (Werner, 1988; Mekjavic og Eiken, 2006).

#### **1.4 Arbeid i varme omgivelser og varmestress**

Under tungt arbeid eller trening i varme omgivelser, blir det en økt belastning på det kardiovaskulære systemet. Belastningen kommer som følge av økt behov for blodgjennomstrømning til huden for varmeutveksling (Wyss et al., 1975; Gonzalés-Alonso et al., 2008) samtidig med arbeidende musklers økte behov for oksygentilførsel via blodet. Etersom kroppens temperaturregulerende mekanismer over tid ikke kan håndtere både blodstrøm til huden og til arbeidende muskler samtidig på grunn av redusert blodvolum som følge av svetting, vil blodtilførsel til arbeidende muskler prioriteres. Denne restriksjonen av blodstrøm til kroppens periferi vil føre til en redusert varmekvittingskapasitet og dermed økt kjernetemperatur, hvilket kan virke begrensende for prestasjonsevne i varmen (Snook og Ciriello, 1974; Nielsen et al., 1996; Smith et al., 1997; Gonzalés-Alonso et al., 1999; Otani et al., 2016, Chevront et al., 2010). Som nevnt avhenger fordampningsevne av relativ fuktighet i omgivende luft, og dette vil si at svette er effektivt som varmekvittingsmekanisme i omgivelser med lav relativ luftfuktighet, mens fordamping av svette vil være begrenset i omgivelser med høy relativ luftfuktighet. Selv om fordamping av svette er den mest effektive metoden for varmekvitting, fører dette samtidig til væsketap. Et høyt væsketap fører til dehydrering dersom tapt væske ikke erstattes. Dehydrering fører til et lavere blodvolum som igjen påvirker kroppens evne til å vasodilere og kvitte seg med varme (Gonzalés-Alonso,

2008). Regionalt svettetap varierer på de ulike områder på kroppen, og kart over regional svetterate for hele kroppen er blitt utarbeidet i nyere tid (Smith og Havenith, 2011). Fra Smith og Haveniths (2011) studie med mannlige idrettsutøvere i lett fysisk aktivitet ble det målt høyest svetterate sentralt på rygg og panne. Studier av Cotter et al (1995) har tidligere vist samme resultat.

Varmestress er et mye brukt, men løst definert begrep for tilstanden der man føler seg “for varm” eller overopphetet (Parsons, 2014). Varmestress oppleves i situasjoner der kroppstemperaturen stiger som følge av utilstrekkelig varmetap og dermed fører til en forskyving av varmebalansen. Tilstanden er godt kjent blant idrettsutøvere og yrkesarbeidere som arbeider i varme omgivelser, særlig under forhold med ytterligere varmestråling og ved bruk av isolerende bekleddning (Cheung et al., 2000; Holmér, 2006). Varmestress er en ubehagelig tilstand og forlengede perioder med varmessress kan være skadelig for kroppen, redusere arbeidskapasitet, og i verste fall føre til heteslag og død (Shibolet et al, 1976). Termisk komfort og varmessress kan i stor grad sees i sammenheng. Begge er subjektive mål på hvordan en føler seg termisk tilpass i en gitt omgivelse. De seks variablene som påvirker termisk komfort påvirker også i hvilken retning varmebalansen er forskjøvet, og dermed også følelsen av varmessress.

## **1.5 Vernebekledningens innvirkning på kroppens varmebalanse**

Vernebekledning, som andre typer bekleddning, fungerer som en barriere mellom kroppen og omgivelsene, og har som formål å beskytte kroppen mot ugunstig eksponering. Vernebekledning for beskyttelse mot varmeeksponering forhindrer i første omgang utvendig varme fra å trenge inn til huden, men forhindrer samtidig kroppens metabolske varme i å slippe ut (Cheung et al., 2000; Rossi, 2003; Havenith og Heus, 2004; Petruzello et al, 2009, Barr et al., 2010). Vernebekledning for arbeidere utsatt for høy varmeeksponering og risiko for metallsprut behøver en viss termisk isolasjon for å hindre varmegjennomslag til huden (Barker og Yener, 1981; Mäkinen et al., 2008) . Den termiske isolasjonen til bekleddning er hovedsakelig bestemt av tykkelsen til bekleddningslagene og kan uttrykkes i Clo. Clo-uttrykket ble utarbeidet av Gagge et al. (1941) og en Clo-enhet tilsvarer isolasjonsverdien til en bekleddning som en person ville følt seg termisk komfortabel med i stillesittende tilstand i en omgivelsestemperatur på 21°C og relativ luftfuktighet  $\leq 50\%$ . Et nakent menneske vil i komfortable omgivelser ha Clo-verdi lik 0. Clo-verdien til en bekleddning bestemmes enkelt

ved bruk av en termisk manekin og målinger etter internasjonale standarder (ISO 15831). Gunstig Clo-verdi for bekledning vil reduseres dersom fysisk aktivitetsnivå økes eller ved stigende omgivelsestemperatur ettersom disse forholdene krever økt varmeoverføring fra kropp til omgivelser for opprettholdelse av varmebalansen, og visa versa for kalde omgivelsestemperaturer.

I varme omgivelser hvor fordamping av svette er hovedmekanismen for varmetap fra kroppen, vil samtidig bruk av vernebekledning med lite fukttransporterende eller permeable egenskaper bidra til det totalt opplevde varmestresset. Bekledning med lav permeabilitet, slik vernebekledningen for smelteverksindustrien er per i dag, med heldekkende skinn på overkropp, absorberer fuktighet fra svette og gjør innerbekledning og innside av ytterbekledning våt. Akkumulert fuktighet i bekledning vil redusere termisk isolasjon på grunn av større konduktiv varmeledning i vått tøy (Holmér, 1995). Væting av tekstiler og materialer endrer deres termiske egenskaper, og økt fukt i tøy skaper samtidig større friksjon og dårligere komfort (Gwosdow, 1986; Fan og Tsang, 2008). Den praktiske betydningen av dette for arbeid i varme omgivelser vil derfor være dårligere varmeisolasjon og komfort. Bekledning egnet for arbeid med høy varmeeksponering bør ta i betraktning kroppens regionale svettmønster, slik som vist i studiene til Smith og Havenith (2011), for å fasilitere varmetap ved fordamping av svette.

Andre aspekter ved vernebekledning som blant annet vekt, har stor betydning for arbeidsbelastning, eller arbeidsøkonomi. Begrepet arbeidsøkonomi benyttes i arbeidsfysiologien som et mål på energikostnaden (ofte målt som oksygenopptak) ved utførelse av arbeid for en gitt kraftutvinning (Basett og Howley, 2000). Tidligere studier av Amor et al. (1973) og Oksa et al. (2004) har vist at bekledningsvekt gjenspeiles i oksygenopptaket, og at en vil kunne forvente en økning i arbeidsbelastning på 3% for hver kg bekledning som benyttes. Studier av Dorman og Havenith (2009) har vist lignende resultater hvor 1 kg ekstra bekledningsvekt førte til en økning i arbeidsbelastning på 2,7%. Med bakgrunn i dette kan en forvente dårligere arbeidsøkonomi med økende bekledningsvekt.

## **1.6 Bakgrunn for valg av studie**

Mye forskning tilknyttet arbeidsplass-relatert varmestress fokuseres rundt yrkesgruppen brannmenn og deres fysiologiske responser til mer langvarig, intens varmeeksponering

(Havenith og Heus, 2004; Sandsund et al., 2005, Gunga et al., 2008; Barr et al., 2010; von Heimburg et al., 2013; Larsen et al., 2015). Som nevnt av Rossi (2014) er langt mindre forskning gjort på industriarbeidere i ekstreme arbeidsmiljø. Da smelteverksarbeidere faller innenfor denne kategorien, vil det være interessant å undersøke nærmere de fysiologiske påkjenninger denne yrkesgruppen opplever i sine gjentakende kortere, intense arbeidsperioder i ekstrem varme. Fra tidligere kommunikasjon med deltakende smelteverk i dette prosjektet er det blitt rapportert om ulik termisk komfortgrad i løpet av årstidene. Det er meldt om ubehagelige varme arbeidsforhold om sommeren, mens det om vinteren faktisk kan bli noe kjølig. Smelteverksarbeidere i tappeområdene arbeider i store åpne haller med smelteovner som holder smeltet metall på opptil 1600°C. Ofte står dører åpne for å bedre innklimaet, og hallene er derfor i stor grad påvirket av utendørs omgivelsestemperatur. Det er derfor av interesse å undersøke fysiologiske parametere og opplevd varmestress hos smelteverksarbeidere sommer og vinter for å kunne evaluere komfort og grad av termisk belastning for henholdsvis varmeste og kaldeste årstid.

En omfattende spørreundersøkelse fra åtte smelteverk i 2009 (Geving et al., 2009), viste at det ligger et stort forbedringspotensial i eksisterende vernebekledning for smelteverksarbeiderne i tappeområdet, og forskningsprosjektet "Fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere" ble startet opp som følge av dette i 2015. En ny prototype vernebekledning er blitt utviklet og det er derfor ønskelig å sammenligne de materielle endringene sin effekt på fysiologiske parametere for å evaluere eventuell reduksjon i termisk stress ved bruk av ny vernebekledning. I tillegg til ny vernebekledning som tiltak for reduksjon i opplevd termisk stress vil det være interessant å undersøke om avkjølingsperioder i løpet av et skift kan være fordelaktig for det totalt opplevde termiske stresset. Som vist i studiene av Smolander et al. (2004), Webster et al. (2005), Barr et al. (2009), Chinevere et al. (2008) og Xu og Gonzales (2011), har bruk av kjølevester vernebekledning vist en positiv effekt på varmestress hos brannmenn og idrettsutøvere som eksponeres for varme. Reinertsen et al. (2008) har også vist positiv effekt på fysiologiske responser ved bruk av phase-change-materiale under vernebekledning. Disse avkjølingsmetodene er blitt benyttet *under* arbeid og bidrar til ekstra vekt i tillegg til den allerede tunge vernebekledningen. Annen forskning som har evaluert ulike metoder for avkjøling etter og mellom arbeidsperioder har vist at eksponering av underarmer i kaldt vann fører til best avkjøling mellom periodevist arbeid ved bruk av vernebekledning for brannmenn (Selkirk et al., 2004). I samme studie til Selkirk et al. (2004) og i studiene til Carter et al. (1999) ble det vist at også benyttelse av vifte og vifte i



kombinasjon med lett vandusj (“misting fan”) lettet den kardiovaskulære og termiske påkjenningen gjenspeilet i en lavere økning i hjerterefrekvens og kjernetemperatur i påfølgende arbeidsperioder sammenlignet med kontroll.

Det er så vidt vi vet ikke tidligere gjennomført studier for å undersøke effekt av avkjøling mellom korte, intense arbeidsperioder med høyt termisk stress hos yrkesgruppen smelteverksarbeidere. Det er derfor av interesse å undersøke dette. Ettersom benyttelse av kjølevest og isbad ikke er den mest praktiske avkjølingsmetoden i smelteverksarbeidernes arbeidssituasjon, vil bruk av vifte for fasilitering av konvektivt varmetap og fordamping kunne være et praktisk og billig alternativ for avkjøling mellom arbeidsperioder. Dersom avkjøling ved bruk av vifte i pauser viser seg å redusere termisk stress og gi økt komfort for arbeidere som utsettes for omgivelser som ligner tappeområder i smelteverk, kan dette bidra til utvikling av nye rutiner for å redusere arbeidsrelatert stress og ulykker, samt økt yteevne og komfort hos arbeiderne i fremtiden.

## **1.7 Mål og hypoteser**

Masteroppgaven er todelt og består av et feltstudie og et laboratoriestudie. Feltstudiet inkluderte målinger av fysiologiske parametere hos profesjonelle smelteverksarbeidere i tappeområdet under arbeid vinter og sommer. Basert på observasjoner og målinger fra feltstudien ble det utarbeidet en protokoll for laboratoriestudien som skulle simulere en reell arbeidssituasjon for smelteverksarbeidere.

### **1.7.1 Feltstudie**

Det er manglende kunnskap om termisk stress hos smelteverksarbeidere i tappeområdene for de kaldeste og varmeste dagene av året. Målet med feltstudien er å undersøke varmebelastningen sommer og vinter med hensyn til hudtemperatur, kjernetemperatur, hjertefrekvens og subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort hos profesjonelle smelteverksarbeidere i tappeområdet under normale arbeidsforhold. Vinter er her definert som dager med utendørs omgivelsestemperaturer på ca. 0°C og sommer som dager med utendørs omgivelsestemperaturer på ca. 20°C.

*Hypotese:*

Kombinasjonen av strålingsvarme fra smelteovner ved 1600°C og høye omgivelsestemperaturer innendørs i smelteverkshallene fører til et høyt varmestress om sommeren. Arbeid om vinteren medfører også varmestress på grunn av eksponering til strålingsvarme fra smelteovner.

Hypotesen ble testet ved måling av kjernetemperatur, hudtemperaturer, hjertefrekvens og ved vurdering av subjektive evalueringer av termisk fornemmelse og komfort.

## 1.7.2 Laboratoriestudie

Dagens vernebekledning for smelteverksarbeidere i tappeområdet er tung, består av materialer som er lite fukttransporterende og har en høy isolasjonsverdi. Det er utviklet en ny prototype vernebekledning med nytt design som det er ønskelig å sammenligne mot dagens vernebekledning. Det finnes heller ingen standardiserte avkjølingsmetoder i arbeidspauser annet enn avkledning og regulering av temperatur i pauserom ved bruk av klimaanlegg. Målet med laboratoriestudiet er 1) å sammenligne ny prototype vernebekledning mot dagens vernebekledning, og 2) undersøke om bruk av ny prototype vernebekledning sammen med bruk av vifte i stillesittende hvileperioder kan føre til mindre termisk stress, bedre arbeidsøkonomi og økt komfort.

### *Hypotese:*

Nyutviklet prototype vernebekledning vil resultere i redusert varmestress og økt komfort under arbeidsperioder med høyt termisk stress (omgivelsestemperatur 25°C, relativ luftfuktighet 35%, og periodevis høy varmestråling) etterfulgt av hvile sammenliknet med bruk av dagens vernebekledning. Bruk av vifte i stillesittende hvileperioder vil gi en avkjølingseffekt som reduserer varmestress og øker komforten ytterligere.

### *Prediksjoner:*

1. Den nyutviklede prototypen vernebekledning vil gi et redusert varmestress målt som lavere hudtemperaturer og hjerterefrekvens, mindre væsketap og svetteakkumulering, bedre arbeidsøkonomi, samt større positiv effekt på subjektiv vevaluering av termisk fornemmelse og komfort sammenliknet med dagens vernebekledning.
2. Den nyutviklede prototypen vernebekledning i kombinasjon med vifte i stillesittende hvileperioder vil gi større positiv effekt på målte fysiologiske parametere (hudtemperaturer, hjerterefrekvens, væsketap), svetteakkumulering i bekledning, bedre arbeidsøkonomi etter avkjøling, og større positiv effekt for subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort sammenliknet med bruk av ny prototype vernebekledning alene.

## **2 METODE**

Masteroppgaven inngikk som en del av SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse sitt prosjekt “Fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere” i samarbeid med Industriskinn AS (produsent av vernebekledning), Wacker Chemicals AS og Elkem Thamshavn AS (behovseiere). Prosjektet gikk over perioden 2015-2017 og ble finansiert av Norges forskningsråd. Masteroppgavens formål i prosjektet var å utvikle et kunnskapsgrunnlag ved evaluering av gammel og ny vernebekledning, samt undersøke enkle tiltak for avkjøling for å redusere termisk stress og øke arbeidskomfort hos smelteverksarbeidere. Masteroppgaven består av et feltstudie og et laboratoriestudie. Datainnsamling og protokoll for feltstudiet og laboratoriestudiet ble godkjent av Norsk senter for forskningsdata (NSD) og Regional komite for medisinsk og helsefaglig forskning (REK) før prosjektstart.

### **2.1 Feltstudie**

Feltstudiet ble gjennomført ved smelteverket Elkem Thamshavn AS i Orkanger i to omganger; en periode på tre dager i februar-mars 2016 (17. februar og 03.-04. mars 2016) og en periode på tre dager i august 2016 (17.-19. august 2016), henholdsvis vinter og sommer. Det ble under feltstudiet innhentet informasjon om temperatur, luftfuktighet og luftgjennomstrømning i smelteverkshallene, og gjennomført målinger av fysiologiske parametere hos smelteverksarbeidere. Vinter ble her definert som dager der utendørs omgivelsestemperatur var rundt 0°C og sommer definert som dager der utendørs omgivelsestemperatur var rundt 20°C. Observasjoner av arbeidsoppgaver til arbeidere og målingene av fysiologiske parametere fra feltstudiet ble videre benyttet for å utarbeide en forsøksprotokoll for det påfølgende laboratoriestudiet.

#### **2.1.1 Forsøkspersoner**

Totalt syv smelteverksarbeidere (seks menn og en kvinne) deltok i vinterperioden, hvorav alle deltok én gang. Gjennomsnittlig alder var  $34 \pm 12$  år, vekt  $76 \pm 10$  kg, høyde  $181 \pm 7$  cm, BMI  $23,1 \pm 1,6$ . Totalt seks mannlige smelteverksarbeidere deltok i sommerperioden, hvorav tre arbeidere deltok én gang og 3 arbeidere deltok to ganger. Gjennomsnittlig alder var  $26 \pm 4$  år, vekt  $82 \pm 11$  kg, høyde  $181 \pm 4$  cm, BMI  $25,0 \pm 3,3$ . Arbeiderne ble på forhånd informert om prosjektets formål og signerte en samtykkeerklæring (se vedlegg 1A) før deltagelse på

den aktuelle testdagen. Arbeiderne ble også informert om at de når som helst kunne trekke seg fra deltakelse i prosjektet i henhold til Helsinkideklarasjonen for forsøk med mennesker.

### **2.1.2 Forsøksprotokoll**

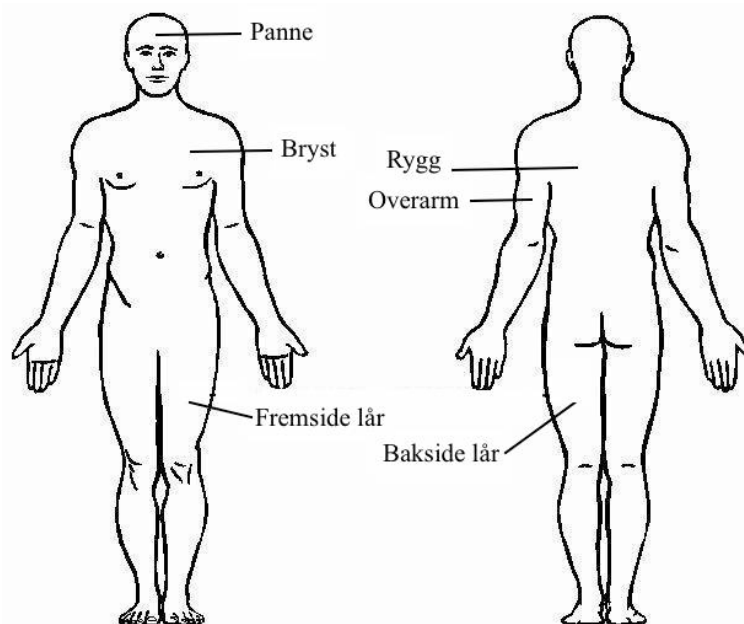
På Elkem produseres flere ulike metall og materialer, deriblant silisium og mikrosilika, og fremstillingsprosessen skjer i to smelteovner lokalisert i hver sin hall. Smelteovnene er av stor størrelse og hallene er store og åpne. Det ble gjennomført målinger ved begge ovner, med likt antall dager i hver av hallene vinter og sommer.

Antall deltakende arbeidere for hver testdag varierte i henhold til tilgjengelige og frivillige arbeidere den aktuelle dagen. Rekrutterte arbeidere skulle utføre sitt vanlige arbeid i sin vanlige arbeidsbekledning på testdagen. Typisk vernebekledning for smelteverksarbeiderne ved Elkem produseres av Industriskinn AS og består av vernesko, bukse i flammehemmende tekstil med påsydd elgspalt opp til kneet, ulltrøye som innerbekledning, nakkeskinn, jakke og hansker i Brontoguard oksespalt, samt hjelm med visirskinn i elgspalt (se punkt 2.1.3 for detaljer).

Om vinteren ble de deltakende arbeiderne fulgt ved morgenskiftet fra kl. 06:00-14:00 og ved kveldsskiftet fra kl. 14:00-22:00 om sommeren. De aktuelle skiftene for vinter og sommer ble valgt for å kunne undersøke arbeidsbelastning og termisk stress henholdsvis de kjøligste og varmeste tidspunkt på dagen. Et vanlig skift bestod av ulike arbeidsoperasjoner som ble rotert mellom arbeiderne på den aktuelle dagen; arbeid foran smelteovn for uttapping av smeltet metall i store øser, prøvetaking av smeltet metall ved uttapping, frakt av øse med metall for utstøping, utskrapning av metallslag fra øse etter utstøping. Arbeidsoperasjonene bestod av både manuelle og automatisk styrte oppgaver som krevde god presisjon, samt en del ståing og gåing. Arbeiderne hadde flere korte pauser mellom arbeidsoperasjonene, og en lunsjpause på ca. 30 min i et pauserom hvor de hadde mulighet for å kle av seg jakke, hansker og hjelm, spise og drikke.

Før start på skiftet fikk arbeiderne klistret på 6 hudtermistorer på bestemte deler av kroppen for måling av hudtemperaturer (se figur 2.1). Arbeiderne svelget en gastrointestinal temperaturpille for måling av kjernetemperatur, og fikk deretter påmontert et pulsbelte som registrerte hjerterefrekvens og logget målingene fra temperaturpillen. Arbeiderne ble veid på vekt før og etter skiftet for å undersøke vektendring.

Arbeiderne skulle så godt det lot seg gjøre jobbe upåvirket av målinger og tilstedeværelse av forsøksansvarlig. I pausene i løpet av skiftet ble de bedt om å fylle ut et evalueringsskjema for termisk fornemmelse og komfort (se vedlegg 2) der de beskrev den termiske påkjenningen i arbeidsperioden de nettopp kom fra. Hvis mulig ble subjektiv evaluering gjennomført før start av skiftet. Evalueringsskjemaet ble fylt ut 2-6 ganger.



**Figur 2.1.** Skjematisk oversikt for plasseringer av hudtermistorer for måling av hudtemperaturer. Modifisert originalbilde hentet fra [www.clipart-library.com](http://www.clipart-library.com).

I løpet av skiftet ble data om de ulike arbeidsoperasjonene samlet inn, og det ble målt omgivelsestemperaturer, luftgjennomstrømning og varmestråling 4-9 ganger inne i smelteverkshallene og utendørs. Første testdag vinter ble det også gjennomført målinger av overflate på smelteovn, beskyttelsesvegg, utside av øse med smeltet metall, innside av øse ved utskraping av slagg etter utstøping og støpejern med et håndholdt varmekamera som tilhørte smelteverket.

### 2.1.3 Bekledning

Bekledningen bestod av hver arbeiders vanlige vernebekledning; vernesko, hjelm med visirskinn i elgspalt, jakke, hansker og nakkeskinn i Brontoguard oksespalt, samt bukse i flammehemmende tekstil med påsydd flammehemmende elgspalt opp til kneet. Innerbekledningen bestod av ulltrøye av typen Devold Spirit (50% merinoull, 50% Lenzig

FR ®), samt eget undertøy (sokker og underbukser hovedsakelig i bomull). Den kvinnelige arbeideren benyttet også ullongs av typen Devold Spirit (50% merinoull, 50% Lenzig FR ®) om vinteren.

#### **2.1.4 Målinger og utstyr**

##### *Høyde og vekt*

Arbeiderne oppgav sin egen høyde. Vekt av arbeiderne ble målt ved hjelp av bærbar vekt (Soehnle professional 2755, nøyaktighet  $\pm 0,1$  kg) før og etter skiftet (korrigert for bekledding og utstyr).

##### *Kroppstemperaturer*

Det ble målt hudtemperaturer med 6 hudtermistorer på følgende steder: Panne, bryst, overarm, rygg, framside lår og bakside lår, slik som vist i figur 2.1. Termistorene, (YSI-termistorer, Yellow Springs Instruments, nøyaktighet  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ ) ble klistret på huden over muskel med kirurgisk tape. Hudtemperaturer ble logget kontinuerlig med 1 minutt intervall ved hjelp av ACR Smartreader (ACR Systems Inc. Smartreader Plus, Vancouver, Canada) gjennom hele skiftet og gav et indirekte mål på muskeltemperatur og blodsirkulasjon ved det aktuelle området. Kjernetemperatur ble målt ved hjelp av en gastrointestinal temperaturpille (Equivital VitalSense Core Temperature Capsule, nøyaktighet  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , VitalSense) som ble svelget før start av skiftet. Målinger ble logget med 15 sekunders intervall via Equivital EQ02 LifeMonitor (Hidalgo, Cambridge, UK, temperaturfølsomhet:  $-32$  til  $42^{\circ}\text{C}$ ).

##### *Hjertefrekvens*

Hjertefrekvens ble logget med 15 sekunders intervall under hele skiftet via Equivital EQ02 LifeMonitor og Equivital B2 sensor belt (Hidalgo, Cambridge, UK, range 25-240 slag  $\cdot$  min<sup>-1</sup>) som var festet rundt brystet.

##### *Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort*

Arbeiderne ble bedt om å angi sin subjektive evaluering av termisk fornemmelse og komfort i pausene for å gi en evaluering av arbeidsperioden de nettopp kom fra. Evalueringen bestod av et standardisert spørreskjema med rangerte svar (se vedlegg 2). Votering av termisk fornemmelse og komfort ble registrert av arbeiderne selv etter instruksjon fra forsøksansvarlig. Evalueringen ble gjennomført 2-5 ganger ved feltarbeid vinter og 2-6 ganger ved feltarbeid sommer, avhengig av tid arbeiderne hadde til disposisjon.

### *Omgivelsestemperatur, luftfuktighet, luftgjennomstrømning og varmestråling*

Omgivelsestemperaturer og luftfuktighet inne i smelteverkshallene og utendørs ble målt ved hjelp av et håndholdt termohygrometer (Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 2\%$  RH). Varmestråling inne i smelteverkshallene ble målt ved hjelp av en håndholdt Globe probe (Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). Luftgjennomstrømning ble målt ved hjelp av en håndholdt vindmåler (Vane measurement probe, Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,1 \text{ m} \cdot \text{sek}^{-1}$ ). Målinger av omgivelsestemperaturer, luftfuktighet, varmestråling og luftgjennomstrømning inne i smelteverkshallene og utendørs ble gjennomført 4-9 ganger, avhengig av tid til disposisjon og tillatelse til å bevege seg rundt og gjennom områdene i smelteverkshallene.



## 2.2 Laboriestudie

Laboriestudiet ble gjennomført ved Arbeidsfysiologisk laboratorium ved SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse i Trondheim i perioden oktober 2016 - februar 2017. Hver enkelt forsøksperson var innom laboratoriet for testing totalt fire ganger hvorav de gjennomførte en pretest og tre hovedtester.

### 2.2.1 Forsøkspersoner

Deltakerne i laboriestudiet var 10 friske menn i alderen 21-25 år, hovedsakelig rekruttert fra NTNUI-idrettslag. Tabell 2.1 viser alder og fysisk karakteristika for forsøkspersonene. Alle deltakere ble på forhånd informert om forsøksprotokollen og signerte en samtykkeerklæring før deltakelse (se vedlegg 1B). Forsøkspersonene ble informert om at de når som helst kunne trekke seg fra prosjektet i henhold til Helsinkideklarasjonen for forsøk med mennesker.

**Tabell 2.1.** Alder og fysisk karakteristika for de ti forsøkspersonene (FP). Tabellen viser hver forsøkspersons alder, høyde, vekt, BMI, maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2maks}$  i  $L \cdot \text{min}^{-1}$  og  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) og høyeste hjertefrekvens målt ved  $VO_{2maks}$  ( $Hf_{peak}$ ). Alle verdier ble samlet inn ved pretestene. Nederst i tabellen vises gjennomsnittsverdi ( $\bar{X}$ )  $\pm$  standardavvik (SD).

FP	Alder	Høyde	Vekt	BMI	$VO_{2maks}$	$VO_{2maks}$	$Hf_{peak}$
nr.	år	cm	kg	$\text{kg} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$	$L \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{Slag} \cdot \text{min}^{-1}$
1	21	181	70	21,4	5,59	79,8	195
2	24	192	87	23,6	5,92	68,1	181
3	23	175	77	25,3	4,21	54,7	199
4	23	186	77	22,3	5,73	74,4	178
5	23	181	66	20,1	4,80	72,8	198
6	22	182	72	21,7	4,86	67,5	186
7	24	172	72	24,3	4,18	58,1	194
8	24	186	78	22,5	5,71	73,2	187
9	20	179	75	23,3	5,84	77,8	184
10	25	172	69	23,3	4,89	70,8	191
$\bar{X} \pm \text{SD}$	$23 \pm 2$	$181 \pm 6$	$74 \pm 6$	$22,8 \pm 1,5$	$5,17 \pm 0,67$	$69,7 \pm 8,0$	$189 \pm 7$

## 2.2.2 Inklusjon- og avbruddskriterier

Inklusjonskriteriet for deltakelse var friske menn i alderen 20-30 år med godkjent vurdering av lege ved Aleris Sykehus og Medisinsk Senter i Trondheim før prosjektstart. På grunn av en testprotokoll som krevde høy grad av anstrengelse, var det behov for deltakere i god fysisk form. Avbruddskriterier under hovedtestene var lokal hudtemperatur høyere enn 43°C, rektaltemperatur høyere enn 39°C (ihht. ISO 9886), dersom forsøkspersonen selv ønsket å avslutte testen, eller om forsøksansvarlig så det nødvendig å avbryte testen.

## 2.2.3 Testprotokoll

### *Pretest*

Pretestene ble gjennomført i tidsrommet oktober-november 2016 i forkant av hovedtestene. Under pretestene ble det målt maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2maks}$ ), høyeste målte hjertefrekvens ved  $VO_{2maks}$  ( $Hf_{peak}$ ), det ble registrert kroppslige mål (høyde, vekt og BMI) og forsøkspersonene ble gjort kjent med protokoll og måleutstyr for hovedtestene.

For å bli kjent med aktivitetene i protokollen for hovedtestene, gikk hver forsøksperson på tredemølle ved 3° vinkel ved tre ulike submaksimale arbeidsintensiteter á 5 minutter på henholdsvis 3,5, 4,5 og 5,5  $km \cdot t^{-1}$ . Forsøkspersonene var ikledd typisk vernebekledning for smelteverksarbeidere (se figur 2.3 A) og oksygenopptak ble målt de siste 2 minuttene med en oksygenanalysator for hver av de tre hastighetene.

For å definere maksimalt oksygenopptak ble det gjennomført en løpetest på tredemølle ( $VO_{2maks}$ -test). Denne testen ble gjennomført etter de 3 submaksimale arbeidsintensitetene. Alle forsøkspersonene løp  $VO_{2maks}$ -testen i shorts og t-skjorte ved 6° vinkel ved romtemperatur ca. 22°C. Forsøkspersonene var allerede varme fra gange på tredemølle med vernebekledningen, men fikk varme opp ytterligere på tredemølla etter eget ønske før start av  $VO_{2maks}$ -testen. Forsøkspersonene startet å løpe ved 7  $km \cdot t^{-1}$ . For hvert minutt ble hastigheten økt med 1  $km \cdot t^{-1}$  inntil utmattelse. Standardkriterium for oppnådd  $VO_{2maks}$  var dersom en utflating av  $VO_2$ -kurven ble observert fra de kontinuerlige målingene. Hjelpeskriterium for oppnådd  $VO_{2maks}$  var dersom respiratorisk utvekslingskvotient (RER) målte over 1,1 (ihht. Åstrand et al., 2003). Alle forsøkspersonene innfridde kravet for nådd  $VO_{2maks}$ . Varighet av  $VO_{2maks}$ -test var i gjennomsnitt 6-9 minutter. Verdi for  $VO_{2maks}$  ble

bestemt fra gjennomsnittet av de to høyest målte verdiene, og resultatet fra  $VO_{2\text{ maks}}$ -testen ble videre benyttet for å definere individuell testprotokoll for hovedtestene.

### *Hovedtester*

Hovedtestene ble gjennomført ved randomisert design for å motvirke at rekkefølge av hovedtestene og termisk akklimering ved gjentagende eksponering til varme omgivelser ville innvirke på resultatene. Omgivelsestemperatur og relativ luftfuktighet (RH) i klimakammeret var under alle hovedtestene regulert til henholdsvis 25°C og 35%. Omgivelsestemperatur og relativ luftfuktighet hadde blitt bestemt ut ifra gjennomsnittsmålinger fra sommerdager i felt for å simulere omgivelser lignende en sommerdag inne i tappeområdet i smelteverket. Protokollen for hovedtestene bestod av arbeid ved relativ belastning på 25% og 40% av forsøkspersonens  $VO_{2\text{ maks}}$ , og den prosentvise belastningen hadde blitt bestemt ut ifra hjerterefrekvens hos smelteverksarbeiderne under arbeid i felt.

De tre hovedtestene som ble gjennomført av hver forsøksperson blir videre referert til som hovedtest A, B og C for enklere å vise til bekledningstype og metode for avkjøling i hvileperioder; avkledning eller avkledning i kombinasjon med vifte (se tabell 2.2). Illustrasjon av de to ulike bekledningstypene kan sees i figur 2.2. Buksen i dagens vernebekledning kommer i to forskjellige modeller. Den ene modellen er med påsydd elgspalt opp til skrittet og benyttes i dag ved smelteverket Wacker Chemicals Norway AS og er den som ble testet i laboratoriestudien. Den andre modell er med påsydd elgspalt opp til kneet og brukes i dag ved smelteverket Elkem Thamshavn AS. Denne modellen ble ikke testet i vår studie.

**Tabell 2.2.** Definisjon av hovedtest A, B og C med hensyn til bekledningstype og avkjølingsmetode i hvileperioder. Vekt av vernebekledning for str. Medium (M) og Large (L) er for komplett vernebekledning (innerbekledning, jakke, bukse, hansker, hjelm med visir) ekskludert sko. Clo-verdi for bekledningstypene ble målt ved bruk av en termisk manikin.

Hovedtest	Bekledningstype	Isolasjonsverdi Clo	Vekt str. M-L gram	Metode for avkjøling i hvile
A	1	1,98	4971-5223	Avkledning
B	2	2,05	4598-4754	Avkledning
C	2	2,05	4598-4754	Avkledning og vifte

**A**



**B**



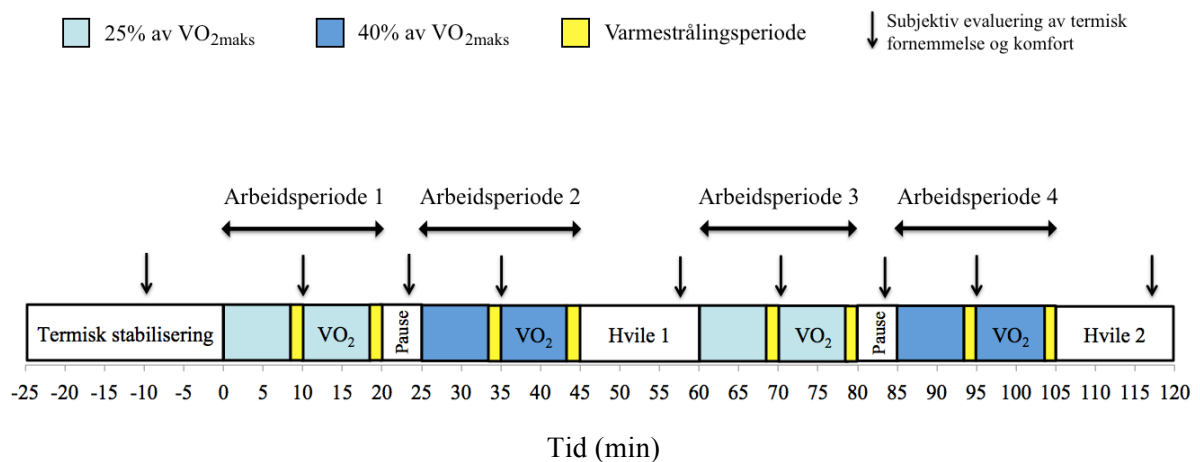
**Figur 2.2.** **A:** Dagens vernebekledning for smelteverksarbeidere i kombinasjon av Brontoguard, elgspalt og tekstil produsert av Industriskinn AS (bekledningstype 1). Foto: Industriskinn AS. **B:** Nyutviklet prototype vernebekledning for smelteverksarbeidere i kombinasjon av elgskinn og tekstil produsert av Industriskinn AS (bekledningstype 2). Foto: Nora Sunde. For mer detaljert beskrivelse av bekledningen, se avsnitt 2.2.4.

Forsøkspersonenes nakne vekt ble målt før og etter hver hovedtest for å undersøke vektendring som mål på væsketap. Det ble festet 6 hudtermistorer på bestemte deler av kroppen (se figur 2.1) i tillegg til en rektalprobe montert av forsøkspersonen selv for måling av rektaltemperatur. Forsøkspersonen fikk påmontert en pulsklokke med komplementært pulsbelte for måling av hjertefrekvens. Deretter ble forsøkspersonen ikledd vernebekledning

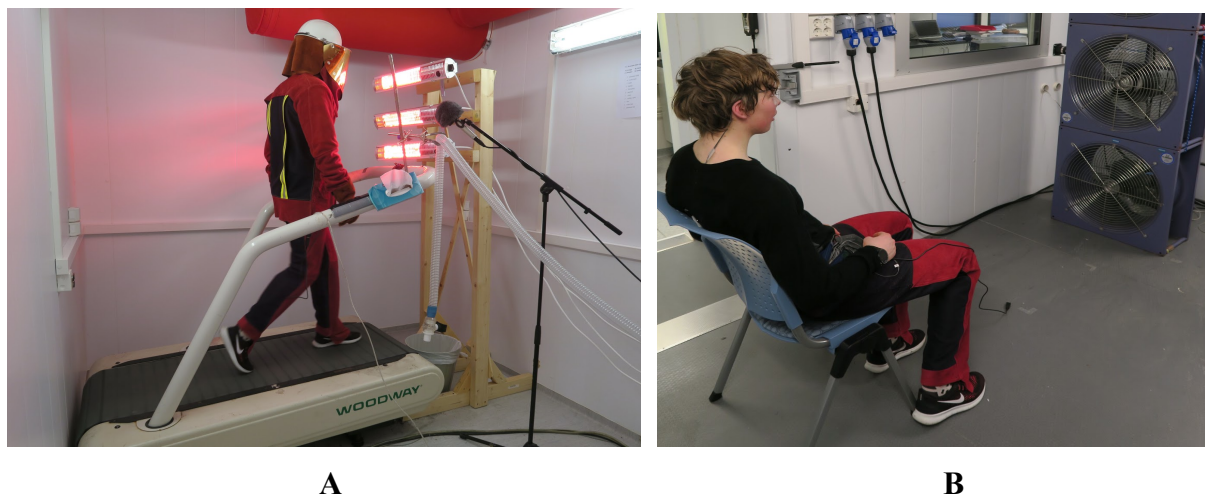
for gjeldende hovedtest ekskludert jakke, hansker og sko. En miniatyr temperatur- og relativ luftfuktighet-sensor ble festet på utsiden av innerbekledning på bryst og rygg for å måle temperatur og relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledning under hovedtestene.

Testprotokoll for hovedtestene var identiske og er skjematisk fremstilt i figur 2.3. Etter påmontering av utstyr og før start av testprotokoll, tilbragte forsøkspersonen 25 minutter i en stillesittende termisk stabiliseringsperiode i et normaltemperert rom ( $22,0 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ ,  $26,3 \pm 5,1\%$  RH) for å oppnå stabile rektal- og hudtemperaturer. Mot slutten av stabiliseringsperioden gjennomførte forsøkspersonen en subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort (se vedlegg 2 for spørsmål og votering). De siste 5 minuttene av termisk stabilisering ble benyttet til å kle forsøkspersonen opp i resterende vernebekledning (jakke, hansker og hjelm). Ved minutt 0 startet testprotokollen og forsøkspersonen ble ført inn i klimakammeret og startet å gå på tredemølle ved  $3^{\circ}$  vinkel. Selve protokollen bestod av totalt fire aktive arbeidsperioder á 20 minutter ved annenhver relativ belastning på 25% og 40% av forsøkspersonen sin  $\text{VO}_{2\text{ maks}}$ .

Hver arbeidsperiode bestod av gange på tredemølle med korte perioder eksponering til høy varmestråling og måling av oksygenopptak. Arbeidsperiodene inkluderte 8 minutter normal gange på tredemølle, deretter 2 minutter eksponering til høy varmestråling fra en varmestrålings-rigg på fremside av overkropp (se figur 2.4 A), 7 minutter måling av oksygenopptak, og nye 2 minutter eksponering til varmestråling. Mellom arbeidsperiode 1 og 2 og mellom arbeidsperiode 3 og 4 var det en kort pause på 5 minutter i klimakammeret. Stillesittende hvileperioder hvor avkjøling fant sted var lagt inn etter hver andre arbeidsperiode og varte 15 minutter. Temperatur og RH i hvilerommet var henholdsvis  $22,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  og  $27,4 \pm 5,1\%$ . 5 minutter inn i hvileperioden fikk forsøkspersonen utlevert ca. 2 dl kaldt vann for rehydrering. I de stillesittende hvileperiodene i hovedtest C ble det benyttet to vifter plassert 150 cm foran forsøkspersonen som til sammen genererte en luftstrøm på  $0,6 \text{ m}\cdot\text{sek}^{-1}$  (se figur 2.4 B) Eksponeringstid til vifte var fra da forsøkspersonen satt seg ned, til påkledning for ny arbeidsperiode, totalt 10 minutter. Forsøkspersonene ble ved 9 utvalgte tidspunkt i protokollen spurt om å subjektivt evaluere sin termiske fornemmelse og komfort (se figur 2.3 for tidspunkt). Protokollen ble avsluttet ved minutt 117. Umiddelbart etter avsluttet test ble vernebekledningen tatt av og veid for å beregne svetteakkumulering.



**Figur 2.3.** Skjematisk fremstilling av testprotokoll for hovedtest A, B og C. ↓ indikerer tidspunkt for subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort. Arbeidsperioder ved belastning 25% av  $VO_{2maks}$  er markert med lys blå og arbeidsperioder ved belastning 40% av  $VO_{2maks}$  er markert med mørk blå. Varmestrålingsperioder er markert med gult.  $VO_2$  viser til måling av oksygenopptak. Pause indikerer stillestående pause på 5 minutter inne i klimakammer. Hvile 1 og Hvile 2 indikerer de to stillesittende hvileperiodene hvor avkjøling fant sted.



**Figur 2.4.** A: Forsøksperson på tredemølle med varmemstrålingseksponering fra varmemstrålings-rigg på overkropp. B: Forsøksperson i sittende stilling under hvile med vifter plassert 150 cm foran. Foto: Nora Sunde.

Alle forsøkspersonene hadde minimum én hviledag mellom hver hovedtest og utførte kun én hovedtest per dag. Alle hovedtestene for en enkelt forsøksperson ble gjennomført ved omtrent samme tid på døgnet (maksimum  $\pm 2$  timer) for å unngå at naturlig døgnlig variasjon

i kroppstemperatur ville påvirke resultatene. Forsøkspersonene ble instruert til å overholde følgende retningslinjer før hver hovedtest: Ingen inntak av tobakk eller alkohol de 24 siste timene før hovedtesten, ingen inntak av koffeinholdig mat eller drikke hele samme dag som hovedtesten, ha hatt en normal nattesøvn før testdagen, ingen sykdom dagen før eller samme dag som hovedtesten, ingen inntak av mat eller drikke med høyt sukkerinnhold de tre siste timene før hovedtesten, og ha drukket rikelig med vann.

#### **2.2.4 Bekledning**

##### *Pretest*

Under pretesten var forsøkspersonene kledd opp i vernebekledning typisk for dagens smelteverksarbeidere over egen shorts og t-skjorte. Egne joggesko ble benyttet som fottøy. Vernebekledningen bestod av bukse med påsydd flammehemmende elgspalt i front opp til skrittet, jakke og hansker i Brontoguard, samt hjelm med visir, visirskinn og nakkeskinn fra Industriskinn AS som vist i figur 2.2 A. Under  $VO_{2\text{ maks}}$ -test benyttet forsøkspersonene shorts og t-skjorte og egne joggesko.

##### *Hovedtester*

Bekledningstype 1 (Se figur 2.2 A), som ble benyttet i hovedtest A, bestod av dagens vernebekledning for smelteverksarbeidere produsert av Industriskinn AS. Vernebekledningens deler bestod av jakke og hansker i Brontoguard, arbeidsbukse i flammehemmende tekstilmateriale med påsydd flammehemmende elgspalt opp til skrittet, vernehjelm med visir, nakkeskinn i Brontoguard, og visirskinn i elgspalt. Innerbekledningen bestod av ulltrøye av typen Devold spirit (50% merinoull, 50%, 50% Lenzig FR ®). Vekt av all bekledning (ekskludert sko) er fremstilt i tabell 2.2.

Bekledningstype 2 (Se figur 2.2 B), som ble benyttet i hovedtest B og C, bestod av en nyutviklet prototype vernebekledning av elgspalt kombinert med flammehemmende blandingstekstil og spacer-materiale av aramid produsert av Industriskinn AS, utviklet i samarbeid med SINTEF med hensyn til sertifisering etter ISO 11612. Elgspalt er i den nye prototypen kun benyttet i områdene med mest eksponering for varme, metallsprut og mekanisk slitasje (front av jakke og bukse, armer og seteparti på jakke). Elgspalt er mer fleksibelt enn Brontoguard, og kan i tillegg vaskes. Et permanent flammehemmende tekstilmateriale er benyttet i ryggparti av jakken og i buksen for å redusere vekt og forbedre

ventilasjon av varm luft. På innsiden av jakken, i områdene over bryst, skuldre og overarmer der jakken normalt ligger tett mot kroppen, er det integrert et spacer-tekstil av aramid. Spacer-tekstilet er et flammehemmende materiale med en tredimensjonal struktur som bidrar til bedre isolasjon mot varmegjennomslag og bedre luftgjennomstrømning i plagget. Samme hansker, vernehjelm og innerbekledning som for bekledningstype 1 ble benyttet for bekledningstype 2. Vekt av all bekledning (ekskludert sko) er fremstilt i tabell 2.2.

Forsøkspersonene benyttet eget undertøy (sokker og boksershorts i hovedsakelig bomull) samtidig som de fikk benytte egne joggesko for å unngå stor belastning på føttene ved lengre perioder med gange på tredemølle for alle tre hovedtester.

### **2.2.5 Utstyr og målinger**

#### *Klimakammer*

Pretestene og hovedtestene ble gjennomført i Arbeidsfysiologisk laboratorium ved SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse i Trondheim. Laboratoriet består av et varmekammer og et kuldekammer. Det ble i dette prosjektet benyttet varmekammer under hovedtestene. Temperaturen i varmekammeret kan reguleres fra 5°C til 50°C ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ) og RH kan reguleres fra 10 % til 90 % ( $\pm 3\%$ ). Under hovedtestene ble temperatur og RH i kammeret regulert til henholdsvis 25°C og 35%. I pausene ble forsøkspersonen flyttet ut av varmekammeret og inn i et tilstøtende rom hvor temperaturen var  $22,4 \pm 0,6^\circ\text{C}$  og RH  $27,4 \pm 5,1\%$  (målt med håndholdt termohygrometer, Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyatighet  $\pm 0,3^\circ\text{C} \pm 2\%$  RH).

#### *Tredemølle*

Tredemølle (PPS 55 sport-1 climatel, Woodway, Weil am Rhein, Tyskland) ble benyttet under gange og  $\text{VO}_{2\text{maks}}$ -test ved pretest, og under gange i hovedtestene.

#### *Varmestrålings-rigg*

Riggen for kilde til varmestråling bestod av tre terrassevarmere (Heatme terrassevarmer CA2000IR, Lefdal, Norge, effekt 2000 watt) festet 149 cm over bakken i et trestativ. Totalt areal for varmestrålingskilden var 65 x 52 cm og var plassert foran tredemølla slik at strålingen var rettet mot fremside av overkropp hos forsøkspersonene (fra bryst og opp til hode) i en avstand på rundt 50 cm. Varmestrålings-riggen genererte en strålingsvarme på ca.



54°C i løpet av de 2 minuttene med varmestrålingseksponering (målt med Globe probe, Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 1^\circ\text{C}$ , ca. 50 cm foran rigg). Omgivelsestemperaturen i klimakammeret steg med ca.  $5^\circ\text{C}$  i løpet av varmestrålingsperioden, og sank deretter med ca.  $0,3^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  etter varmestrålingen ble slått av (målt med håndholdt termometer, Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ).

### *Vifte*

Det ble benyttet to vifter (BSV sirkulasjonsvifte, JL Bruvik AS., Bergen, Norge) under hovedtest C. Viftene med totalt areal på 128 x 64 cm var plassert 150 cm foran forsøkspersonen under de stillesittende hvileperiodene på 15 minutter og genererte en luftstrøm på ca.  $0,6 \text{ m}\cdot\text{sek}^{-1}$ . Luftstrømmen ble kontrollert med en håndholdt vindmåler (Vane measurement probe, Testo 435 Multifunction meter, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{sek}^{-1}$ ) 150 cm fra viftene i høyde for midtpartiet av person i sittende stilling.

### *Høyde og kroppsvekt*

Høyden til forsøkspersonene ble registrert ved pretesten, og ble målt ved hjelp av et veggfestet målebånd. Forsøkspersonenes nakne vekt ble målt ved pretest og før og etter hver hovedtest på vekt (IDI Mettler Tolledo, Albstad, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,006 \text{ kg}$ ).

### *Kroppstemperatur*

Det ble målt hudtemperaturer med 6 hudtermistorer på følgende steder: Panne, bryst, overarm, rygg, fremside lår og bakside lår. Termistorene (YSI-termistorer, Yellow Springs Instruments, nøyaktighet  $\pm 0,15^\circ\text{C}$ ) ble klistret på huden over muskel med kirurgisk tape og gav et indirekte mål på muskeltemperatur og blodsirkulasjon ved det aktuelle området. Kjernetemperatur ble målt ved bruk av rektalprobe (YSI-termistor, Yellow Springs Instruments, nøyaktighet  $\pm 0,15^\circ\text{C}$ ) ca. 10 cm dybde fra lukkemuskelen. Hudtemperaturer og rektaltemperatur ble logget kontinuerlig under hver hovedtest med 20 sekunders intervall ved hjelp av ACR Smartreader (ACR Systems Inc. Smartreader Plus, Vancouver, Canada) . Gjennomsnittsverdi for de målte hudtemperaturene ( $T_{\text{hud}}$ ) ble beregnet etter ligning (2) modifisert etter Teichner (1958).

$$T_{\text{hud}} = 0,149 \cdot T_{\text{panne}} + 0,186 \cdot T_{\text{bryst}} + 0,186 \cdot T_{\text{rygg}} + 0,107 \cdot T_{\text{overarm}} + 0,186 \cdot T_{\text{framside lår}} + 0,186 \cdot T_{\text{bakside lår}} \quad (2)$$

### *Hjertefrekvens*

Hjertefrekvens ble målt ved bruk av Polar pulsklokke (Polar RS800CX Electro OY, Finland) og komplementært pulsbelte (Polar H3 pulssensor) som ble festet rundt brystet. Målingene ble logget kontinuerlig med 15 sekunders intervall.

### *Oksygenopptak*

Oksygenopptak ble målt ved bruk av munnstykke og oksygenanalysator (Oxycon Pro, Jaeger, Tyskland, usikkerhet  $\pm 0,05$  L·min). Målingene ble logget med 20 sekunders intervall. Oksygenanalysatoren ble kalibrert før målinger ved hver pretest, hver  $VO_2$  maks-test og hver hovedtest.

### *Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort*

Under hovedtestene ble forsøkspersonene bedt om å angi sin termiske fornemmelse og komfort (se figur 2.3 for tidspunkt). Evaluering ble gjennomført under både hvile og aktivitet ved de ulike arbeidsintensitetene, totalt 9 ganger. Hver evaluering bestod av et standardisert spørreskjema med rangerte svar (se vedlegg 2).

### *Temperatur og relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledning*

Temperatur og RH mellom inner- og ytterbekledning på fremside og bakside av overkropp ble målt ved bruk av to miniatyr temperatur- og relativ luftfuktighet-sensorer (OM-CP-MICRORHTEMP, Omega Engineering, INC., Conneticut, USA, sensitivitet 0-50°C og 0-95% RH nøyaktighet 0,5°C og  $\pm 0,3$  RH). Sensoren ble festet på utsiden av innerbekledningen på bryst og rygg ved hjelp av fingerbandasje og sikkerhetsnåler.

### *Væsketap og svetteakkumulering*

Væsketap ble beregnet fra endringer i kroppsvekt ved bruk av vekt (Mettler ID1 Multirange, Mettler Toledo, Albstadt, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,006$  kg) før og etter hver hovedtest, korrigert for væskeinntak. Svetteakkumulering i bekledningen ble beregnet fra vektendringer for de ulike klesplaggene som ble veid separat før og umiddelbart etter hver hovedtest ved bruk av vekt (Sartorius BP3100S, Goettingen, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,01$  gram).

### *Væskeinntak*

For å unngå dehydrering fikk hver forsøksperson tilført ca. 2 dl kaldt vann ( $198,6 \pm 1,4$  gram,  $8,7 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ ) i hver hvileperiode, dvs. 2 ganger i løpet av hver hovedtest. Tilført væske ble veid på vekt (Sartorius BP3100S, Goettingen, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,01$  gram, desimalpunkt=0,01 gram) før inntak, og temperaturen av vannet ble målt med et håndholdt termometer (Testo 435, Testo, Lenzkirch, Tyskland, nøyaktighet  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ).

## **2.3 Statistikk og dataanalyse**

Grafisk fremstilling og beregning av gjennomsnittsverdier og standardavvik (SD) ble gjort ved bruk av Microsoft Excel for Mac 2011 v14.0.0. Statistiske analyser ble gjennomført ved bruk av IBM SPSS Statistics for Mac v24. Alle verdier er presentert som gjennomsnitt  $\pm$  SD, med mindre annet er spesifisert.

### **2.3.1 Feltstudie**

Ettersom målet med feltstudiet var å innhente informasjon om arbeidsforhold sommer og vinter for å undersøke grad av varmessress, ble deskriptiv statistikk benyttet. Data er presentert som maksimum-, minimum- og gjennomsnittsverdier  $\pm$  SD for vinter og sommer for hudtemperaturer, kjernetemperatur, hjertefrekvens, samt gjennomsnittlig vektendring. Høyeste, laveste og gjennomsnittlig votering for subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort sommer og vinter ble benyttet for å presentere grad av termisk fornemmelse og komfort.

### **2.3.2 Laboratoriestudie**

Normalfordeling av data ble evaluert med Q-Q-plot. Toveis analyse av varians (ANOVA) for repeterte målinger ble gjennomført på normalfordelt data for å analysere utviklingen av  $T_{\text{hud}}$ ,  $T_{\text{bryst}}$ ,  $T_{\text{re}}$ ,  $T_{\text{rygg}}$ , Hf, temperatur og RH mellom inner- og ytterbekledning på fremside og bakside av overkropp mellom de tre hovedtestene A, B og C. Det ble valgt ut 13 datapunkter for sammenligning av de ovenfor nevnte parameterne (foruten  $T_{\text{re}}$ ), og datapunktene representerte gjennomsnittet av de to siste målte verdiene for hver aktivitet i protokollen (se vedlegg 3 for ytterligere informasjon). Datapunkt for sammenligning av utvikling av  $T_{\text{re}}$  i de tre hovedtestene var gjennomsnittet av de siste to målte verdiene fra start ved minutt 0, deretter hvert 20. minutt inntil slutt ved minutt 117. Enveis analyse av varians (ANOVA) for repeterte målinger ble benyttet for å sammenligne væsketap, svetteakkumulering i

vernebekledning, og  $VO_2$  (gjennomsnittet av de tre siste minuttene for hver måling av  $VO_2$  ble sammenlignet).

Ved brudd på Mauchly's test, eller i tilfeller der sferisitet ikke var kjent, ble Greenhouse-Geisser-korrigert signifikansverdi benyttet (Girden, 1992). Ved statistisk signifikante forskjeller for hovedtestene ble det videre utført tohalet parede T-tester for å undersøke hvor forskjellen var.

Friedmans-test ble benyttet for å analysere voteringen fra de subjektive evalueringene for de tre hovedtestene A, B og C. Der det ble funnet forskjeller ble det utført Wilcoxon signed-rank test for å undersøke hvor forskjellen var.

Statistisk signifikans ble akseptert ved  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTATER

#### 3.1 Feltstudie

Målinger av omgivelsesforhold som ble registrert i felt er fremstilt i tabell 3.1. Gjennomsnittlig omgivelsestemperatur innendørs i smelteverkshallene viste i underkant av 12°C og 28°C henholdsvis vinter og sommer. Strålingsvarme målte i de åpne arealene i smelteverkshallene var i underkant av 21°C vinter, og rundt 30°C sommer. Strålingsvarme i nærheten av arbeider foran smelteovn ved uttapping av metall fra ovn og ved utstøping av smeltet metall var henholdsvis 63°C og 67°C.

**Tabell 3.1.** Omgivelsesforhold utendørs og innendørs i åpne areal i smelteverkshaller vinter og sommer. Verdiene viser gjennomsnitt ± SD. Måling av luftstrøm utendørs og innendørs i smelteverkshallene om vinteren ble ikke gjennomført.

Målt parameter	Vinter	Sommer
Utendørs omgivelsestemperatur	0,1 ± 3,2 °C	21,1 ± 1,7 °C
Relativ luftfuktighet (RH) utendørs	55,1 ± 13,5%	54,3 ± 8,5%
Luftstrøm utendørs	-	1,3 ± 1,0 m · sek <sup>-1</sup>
Innendørs omgivelsestemperatur	11,7 ± 4,4 °C	27,9 ± 3,3 °C
Relativ luftfuktighet (RH) innendørs	32,5 ± 8,0%	38,3 ± 6,0%
Strålingsvarme i åpent område i hall	20,9 ± 6,1 °C	30,2 ± 4,2 °C
Luftstrøm i åpent område i hall	-	0,71 ± 0,5 m · sek <sup>-1</sup>

Temperaturer på overflater og utstyr inne i smelteverkshallene ble målt med varmekamera første dag i felt og er fremstilt i tabell 3.2. Høyeste temperatur ble målt på overflate av smelteovn og innside av øse ved utskrapning av slagg etter utstøpning hvor begge overflater holdt 600°C. Laveste målte temperatur på de undersøkte overflatene var 170°C og ble målt på utside av øse under frakting av smeltet metall. Beskyttelsesveggen som fungerer som barriere mellom smelteverksarbeider og smelteovn ved uttapping ble målt til 200°C. Målingene ble utført av HMS-ansvarlig ved smelteverket, med forbehold om målefeil grunnet ustandardisert målingsmetode.

**Tabell 3.2.** Målinger av temperatur på overflater av ovn og utstyr utført med varmekamera ved første testdag vinter.

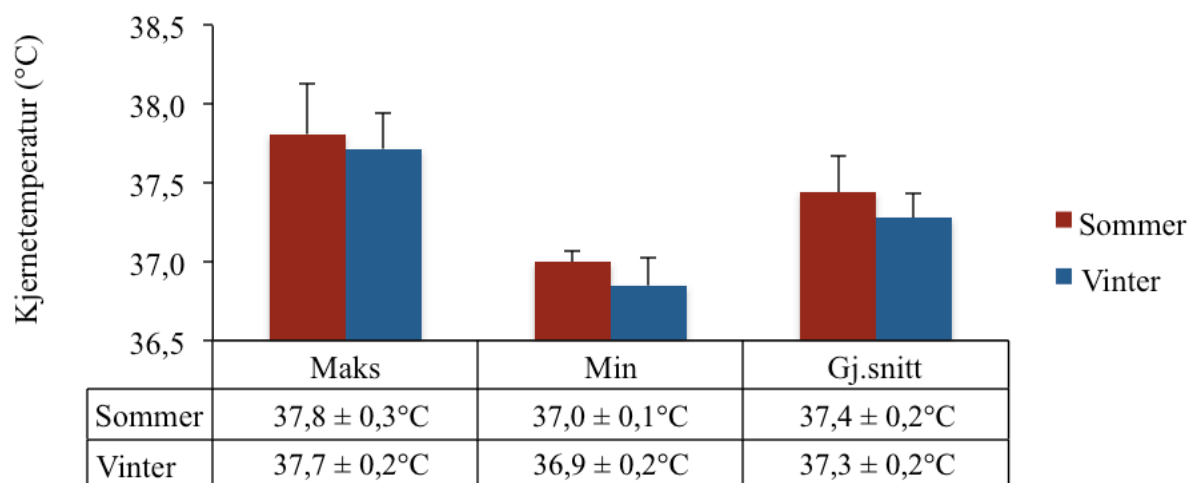
Gjenstand	Temperatur (°C)
Overflate av smelteovn	600
Overflate av beskyttelsesvegg benyttet av arbeidere ved arbeid foran ovn	200
Utside av øse med smeltet metall	170
Innside av øse ved utskraping av slagget etter utstøping	600
Støpejern	200

### 3.1.1 Vektendring

Gjennomsnittlig vektendring fra før og etter skiftet hos arbeiderne om vinteren var  $+ 57 \pm 360$  gram, mens vektendring om sommeren var  $+ 278 \pm 1099$  gram.

### 3.1.1 Kjernetemperatur

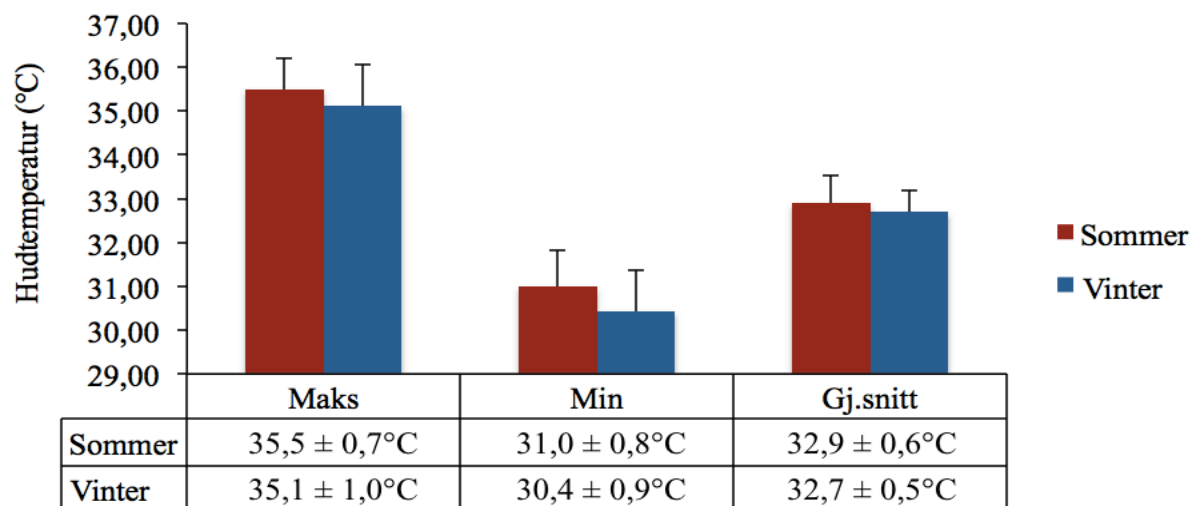
Gjennomsnittlig kjernetemperatur hos smelteverksarbeiderne gjennom hele skiftet sommer og vinter er fremstilt i figur 3.1 nedenfor.



**Figur 3.1.** Gjennomsnittlig maksimum- (Maks), minimum- (Min) og gjennomsnittsverdi (Gj.snitt) for kjernetemperatur fra skift sommer (n=4) og vinter (n=6).

### 3.1.2 Hudtemperatur

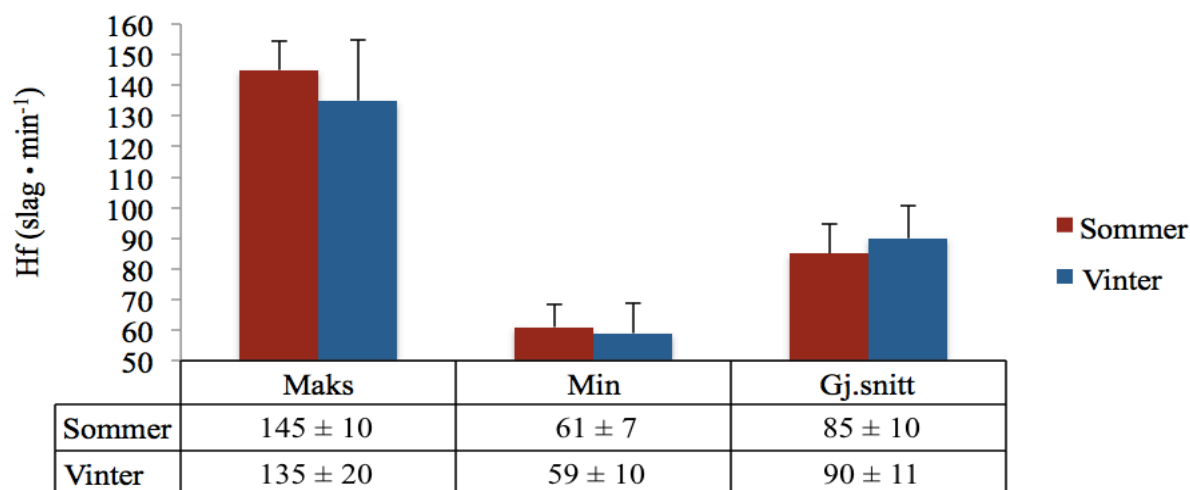
Figur 3.2 viser gjennomsnittlig hudtemperatur hos smelteverksarbeiderne gjennom hele skiftet sommer og vinter.



**Figur 3.2.** Gjennomsnittlig maksimum (Maks), minimum (Min) og gjennomsnittsverdi (Gj.snitt) for hudtemperatur fra skift for smelteverksarbeidere sommer (n=6) og vinter (n=7).

### 3.1.3 Hjerterefrekvens

Figur 3.3 viser gjennomsnittlig hjerterefrekvens hos smelteverksarbeiderne gjennom hele skiftet sommer og vinter.



**Figur 3.3.** Gjennomsnittlig maksimum (Maks), minimum (Min) og gjennomsnittsverdi (Gj.snitt) for hjerterefrekvens (Hf) i slag·min<sup>-1</sup> fra skift hos smelteverksarbeiderne sommer (n=7) og vinter (n=6).

### 3.1.4 Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort

Om sommer rapporterte arbeiderne at de følte seg både ”komfortabel” før start av skiftet og opp til ”svært ukomfortabel” i arbeidsperiodene i løpet av skiftet, med hovedvekt på å føle seg ”ukomfortabel”. De følte seg ”nøytral” før start av skiftet og opp til ”ekstremt het” i arbeidsperiodene, med hovedvekt på følelsen av å være ”het”. Grad av svetting ble rapportert å være opp til ”svetter kraftig”, med hovedvekt på følelsen av å ”svette moderat” i arbeidsperiodene. De følte at kroppen var våt og at tøyet klebet til huden oftere om sommeren sammenlignet med vinteren, med en hovedvekt på at ”bryst og rygg er våt”.

Om vinteren følte arbeiderne seg ”komfortabel” før start av skiftet, men også etter arbeidsperioder og opp til ”litt ukomfortabel” i arbeidsperiodene. Hovedvekt av komfortgrad var på ”komfortabel” i arbeidsperiodene. De følte seg fra ”kjølig” til ”het” i arbeidsperiodene, med en hovedvekt på å føle seg ”litt varm”. Grad av svetting (og skjelving) ble votert fra ”skjelver litt fra kulde” til ”svetter moderat” i arbeidsperiodene, med en hovedvekt på ”svetter litt”. Det ble rapportert om at kroppen var våt også om vinteren, men generelt at ”bryst og rygg var lett våt” i arbeidsperiodene.

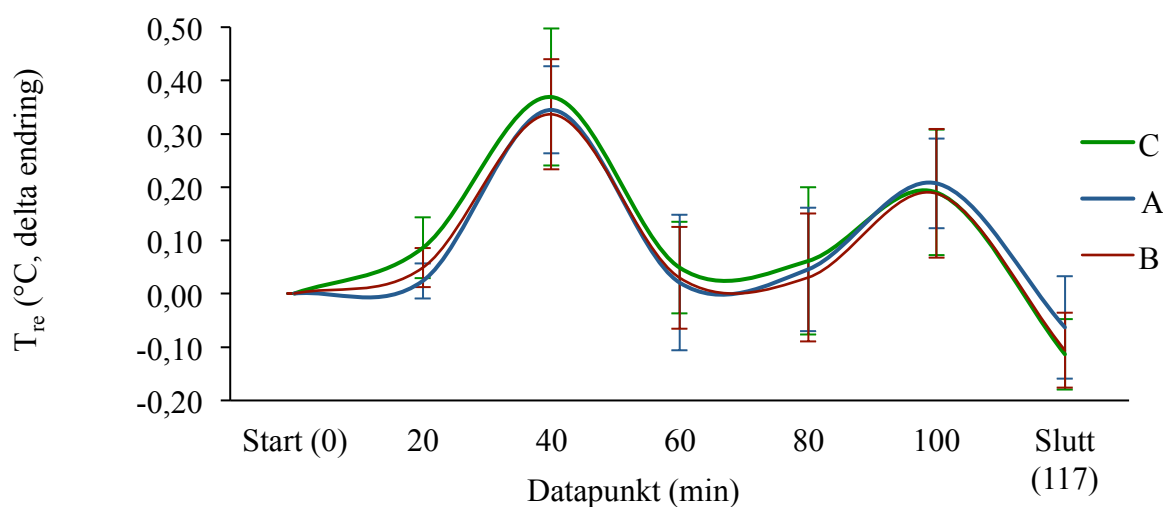
Om sommeren følte arbeiderne at de generelt gjerne ville hatt det ”mye kjøligere”, mens de om vinteren følte de generelt ville hatt det ”litt kjøligere”, men til og med ”litt varmere” i arbeidsperiodene.



## 3.2 Laboratoriestudie

### 3.2.1 Rektaltemperatur

Figur 3.4. viser endring i  $T_{re}$  fra start for hovedtest A, B og C. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i utviklingen av  $T_{re}$  over tid. Etter hvileperioden hadde  $T_{re}$  stabilisert seg på henholdsvis  $37,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ,  $37,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  og  $36,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  for hovedtest A, B og C, og gjennomsnittlig maksimal økning i kjernetemperatur fra start var henholdsvis  $0,7 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ,  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  og  $0,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  for de tre testene.

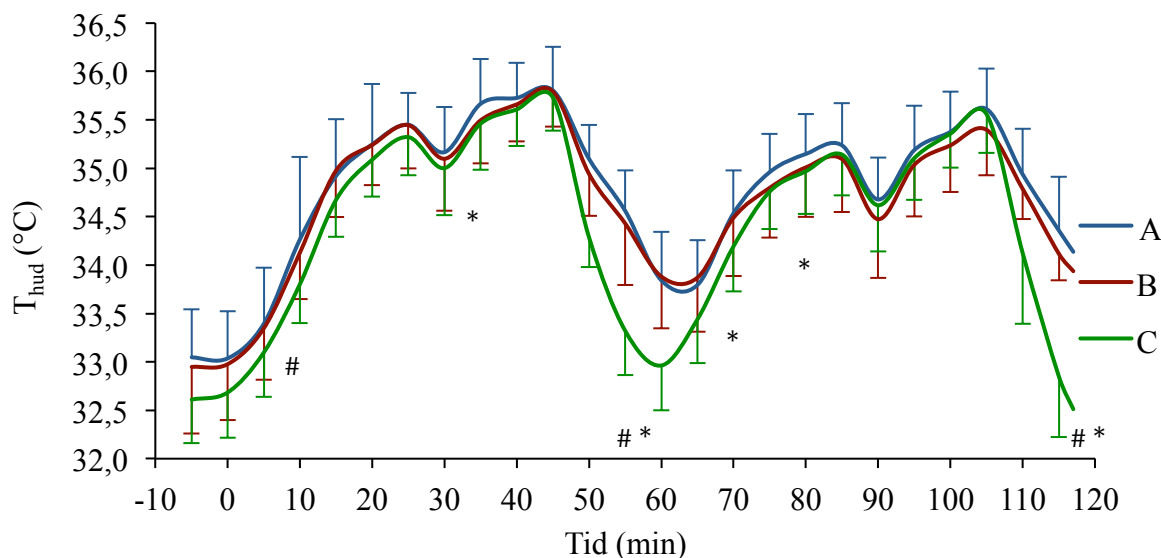


**Figur 3.4.** Utvikling av rektaltemperatur ( $T_{re}$ ) fra starttidspunkt (minutt 0) til sluttidspunkt (minutt 117).  $n=7$ .

### 3.2.2 Gjennomsnittlig hudtemperatur

Figur 3.5 viser utviklingen av gjennomsnittlig hudtemperatur ( $\bar{T}_{hud}$ ) for hovedtest A, B og C. Det ble funnet signifikante forskjeller i  $\bar{T}_{hud}$  over tid ved sammenligning av test A – C og B – C. Ingen signifikant forskjell ble funnet mellom A – B.  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C rett før start (ved minutt -5) var henholdsvis  $33,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $33,0 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$  og  $32,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . I løpet av arbeidsperiode 1 ved 25% av  $VO_{2\text{ maks}}$  (minutt 0-20) økte  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C til  $35,1$ - $35,2^{\circ}\text{C}$ . I påfølgende stillestående pause på 5 minutter steg  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C ytterligere til  $35,3$ - $35,4^{\circ}\text{C}$ . I løpet av arbeidsperiode 2 ved 40% av  $VO_{2\text{ maks}}$  (minutt 25-45) økte  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C til  $35,7$ - $35,8^{\circ}\text{C}$ . I påfølgende stillesittende hvileperiode på 15 minutter (minutt 45-60) sank  $\bar{T}_{hud}$  for A og B til  $33,8$ - $33,9^{\circ}\text{C}$ , mens en signifikant større reduksjon ble registrert for C der  $\bar{T}_{hud}$  sank til  $33,0^{\circ}\text{C}$ . I arbeidsperiode 3 ved 25% av  $VO_{2\text{ maks}}$  (minutt 60-80) økte  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C til  $35,0$ - $35,1^{\circ}\text{C}$ . I påfølgende stillestående pause på 5 minutter (med 2 min stråling?) steg  $\bar{T}_{hud}$  for A, B og C ytterligere til  $35,1$ - $35,2^{\circ}\text{C}$ . I løpet av arbeidsperiode 4 ved 40% av

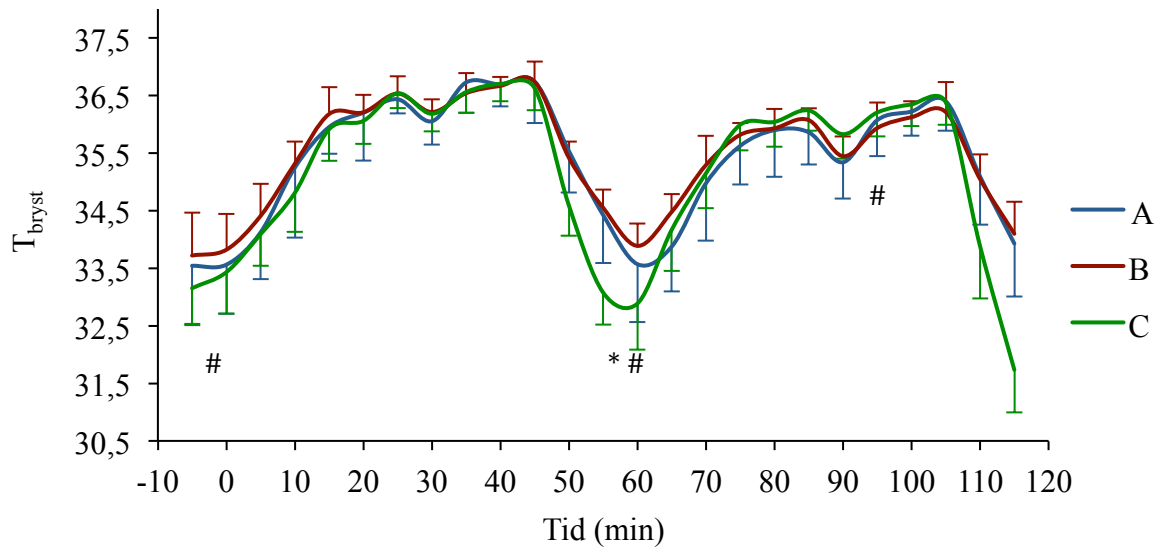
$VO_{2\text{maks}}$  (minutt 85-105) økte  $\bar{T}_{\text{hud}}$  for A, B og C til 35,4-35,6°C. I siste stillesittende hvileperiode (minutt 105-117) sank  $\bar{T}_{\text{hud}}$  for A og B til 34,0-34,1, mens en signifikant reduksjon til 32,5°C i  $\bar{T}_{\text{hud}}$  for C ble registrert.



**Figur 3.5.** Utvikling av gjennomsnittlig hudtemperatur ( $\bar{T}_{\text{hud}}$ ) for hovedtest A, B og C. \* indikerer signifikante forskjeller mellom A – C, # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C. n = 7.

### 3.2.3 Hudtemperatur på bryst

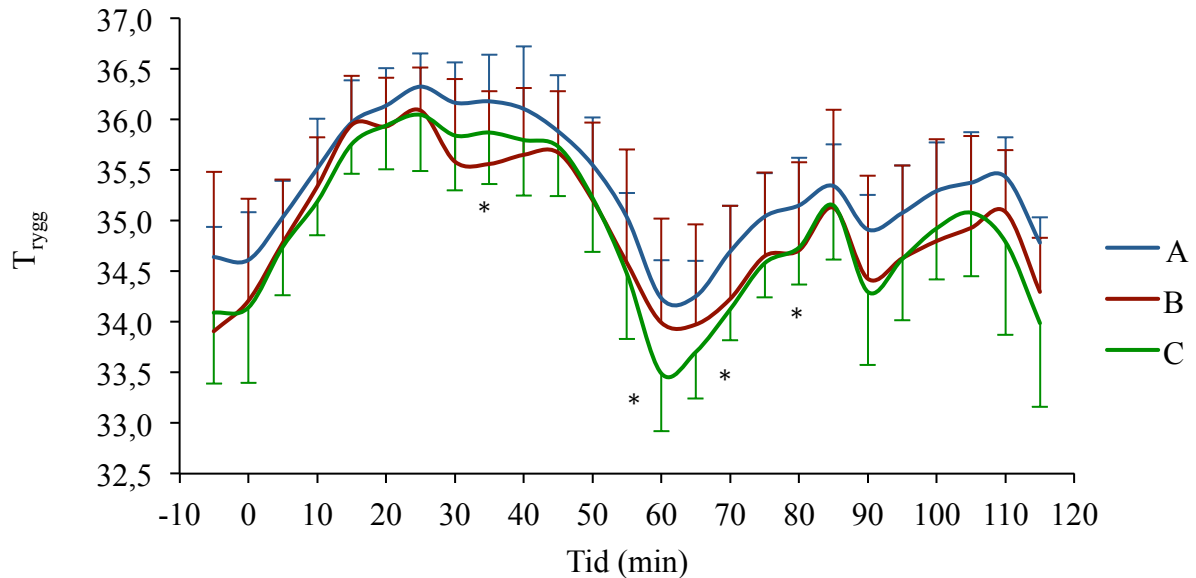
Utvikling av hudtemperatur på bryst ( $T_{\text{bryst}}$ ) for hovedtest A, B og C er fremstilt i figur 3.6. Det ble funnet signifikante forskjeller over tid mellom B – C og A – C. Ingen signifikant forskjell ble funnet ved sammenligning mellom A – B.  $T_{\text{bryst}}$  rett før start (ved minutt -5 i termisk stabilisering) for A, B og C var henholdsvis  $33,5 \pm 1,0^\circ\text{C}$ ,  $33,7 \pm 0,7^\circ\text{C}$  og  $33,2 \pm 0,6^\circ\text{C}$ . Figuren viser en lik utvikling for hovedtest A, B og C med økning i  $T_{\text{bryst}}$  til 36,1-36,2°C i arbeidsperiode 1, økning til 36,4-36,5 i påfølgende 5 minutters stillestående pause og deretter en økning til 36,6-36,7°C i arbeidsperiode 2. I den første hvileperioden ved minutt 45-60 viste  $T_{\text{bryst}}$  for C en signifikant større reduksjon til 32,9°C sammenlignet med A og B hvor  $T_{\text{bryst}}$  sank til 33,6-33,9°C. I arbeidsperiode 3 økte temperaturen på brystet for både A, B og C, men økningen på ca. 0,2-0,4°C i arbeidsperiode 3 og 4 var mindre etter første hvileperiode sammenlignet med arbeidsperiode 1 og 2. Ved andre og siste hvileperiode sank temperatur på bryst for C signifikant sammenlignet med A og B som viste en lik reduksjon i temperatur for A og B. Hudtemperatur på bryst i denne andre og siste hvileperioden var for A, B og C henholdsvis  $33,5 \pm 0,9^\circ\text{C}$ ,  $33,8 \pm 0,5^\circ\text{C}$  og  $31,2 \pm 0,7^\circ\text{C}$ .



**Figur 3.6.** Utvikling av temperatur på bryst ( $T_{\text{bryst}}$ ) for hovedtest A, B og C. \* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C, # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C.  $n=7$ .

### 3.2.4 Hudtemperatur på rygg

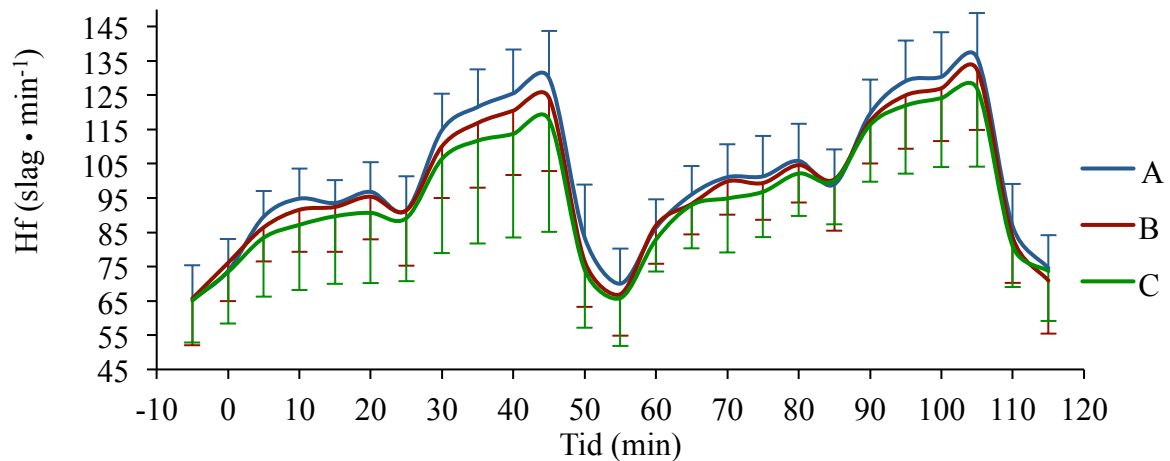
Figur 3.7 viser utvikling av temperatur på rygg for hovedtest A, B og C. A var signifikant høyere i forhold til C, men det ble ikke funnet signifikante endringer over tid. Ingen signifikant forskjell ble funnet mellom A – B eller B – C. Fra figuren kan det sees at temperatur på rygg for A ligger jevnt over B og C for hele testprotokollen.  $T_{\text{rygg}}$  rett før start (ved minutt -5 i termisk stabilisering) for A, B og C var henholdsvis  $34,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ,  $33,9 \pm 1,6^{\circ}\text{C}$  og  $34,1 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ . I løpet av arbeidsperiode 1 (minutt 0-20) økte  $T_{\text{rygg}}$  for A, B og C til  $35,9$ - $36,1^{\circ}\text{C}$ . I påfølgende stillestående pause på 5 minutter (med 2 min stråling?) steg  $T_{\text{rygg}}$  ytterligere til  $36,0$ - $36,3^{\circ}\text{C}$ . I arbeidsperiode 2 (minutt 25-45) ble en litt lavere  $T_{\text{rygg}}$  målt på  $35,7$ - $35,9^{\circ}\text{C}$ . I første hvileperiode (minutt 45-60) ble det målt en signifikant større reduksjon i  $T_{\text{rygg}}$  for C sammenlignet med A.  $T_{\text{rygg}}$  for A, B og C i slutten av denne hvileperioden var henholdsvis  $34,2 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ,  $34,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  og  $33,5 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ . I tredje arbeidsperiode (minutt 60-80) var  $T_{\text{rygg}}$  for C signifikant lavere enn A.  $T_{\text{rygg}}$  økte i denne arbeidsperioden til  $34,7$ - $35,2^{\circ}\text{C}$  for A, B og C. I påfølgende stillestående pause på 5 minutter økte  $T_{\text{rygg}}$  ytterligere til  $35,1$ - $35,3^{\circ}\text{C}$ . I Arbeidsperiode 4 (minutt 85-105) ble det først registrert en kortvarig reduksjon i  $T_{\text{rygg}}$  på  $0,1$ - $0,6^{\circ}\text{C}$  før en økning til  $34,9$ - $35,4^{\circ}\text{C}$  ble observert.  $T_{\text{rygg}}$  i andre og siste stillesittende hvileperiode (minutt 105-117) var for A, B og C henholdsvis  $34,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ,  $34,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  og  $33,7 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ .



**Figur 3.7.** Utvikling av temperatur på rygg ( $T_{rygg}$ ) for hovedtest A, B og C. \* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C.  $n=7$ .

### 3.2.5 Hjerterefrekvens

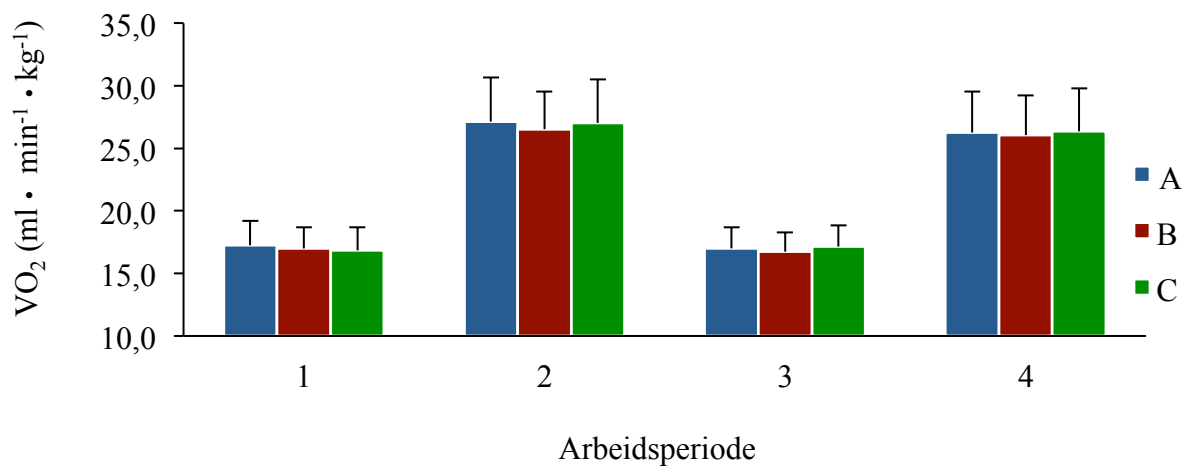
Utvikling av hjerterefrekvens (Hf) over tid for hovedtest A, B og C er fremstilt i figur 3.8. Fra figuren kan det sees at gjennomsnittlig Hf for hovedtest C ligger rundt 5-10 slag·min<sup>-1</sup> lavere sammenlignet med B og A i store deler av testen, men det ble ikke funnet signifikante forskjeller ved sammenligning av de tre hovedtestene. Hf rett før start (minutt -5 i termisk stabilisering) for A, B og C var henholdsvis  $65 \pm 10$  slag·min<sup>-1</sup>,  $66 \pm 14$  slag·min<sup>-1</sup> og  $65 \pm 12$  slag·min<sup>-1</sup>. I løpet av arbeidsperiode 1 (minutt 0-20) steg Hf til 91-97 slag·min<sup>-1</sup>. I påfølgende stillestående pause på 5 minutter sank Hf til 89-91 slag·min<sup>-1</sup>. I arbeidsperiode 2 (minutt 25-45) steg Hf til 118-130 slag·min<sup>-1</sup>. I første hvileperiode (minutt 45-60) sank Hf for A, B og C henholdsvis til  $86 \pm 8$  slag·min<sup>-1</sup>,  $87 \pm 11$  slag·min<sup>-1</sup> og  $83 \pm 9$  slag·min<sup>-1</sup>. I arbeidsperiode 3 (minutt 60-80) steg Hf for A, B og C til 102-106 slag·min<sup>-1</sup>. I påfølgende stillestående pause på 5 minutter sank Hf til 99-100 slag·min<sup>-1</sup>. I arbeidsperiode 4 (minutt 85-105) steg Hf videre til 127-136 slag·min<sup>-1</sup>. I andre og siste hvileperiode (minutt 105-117) sank Hf for A, B og C henholdsvis til  $72 \pm 10$  slag·min<sup>-1</sup>,  $71 \pm 16$  slag·min<sup>-1</sup> og  $74 \pm 13$  slag·min<sup>-1</sup>.



Figur 3.8. Utvikling av hjertefrekvens (Hf) over tid for hovedtest A, B og C. n=10.

### 3.2.7 Oksygenopptak

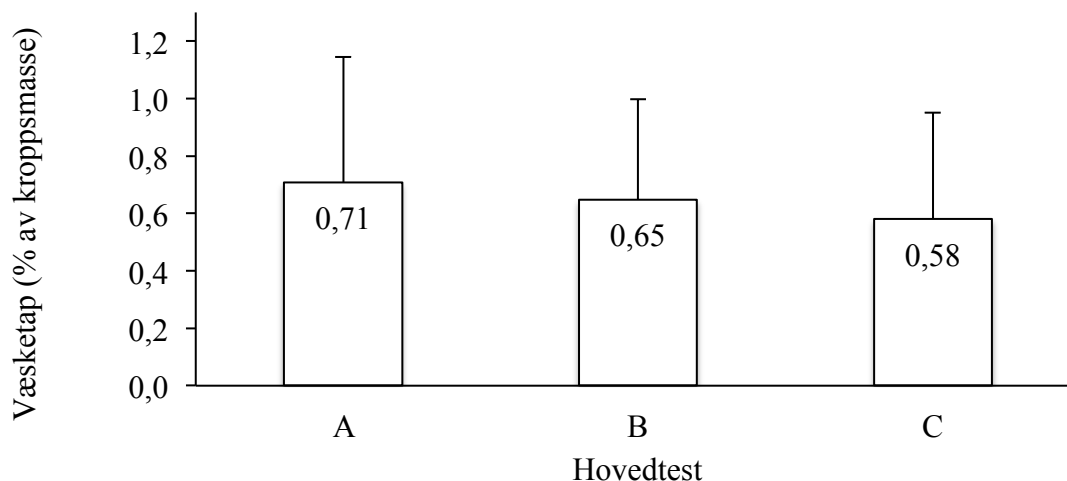
Oksygenopptak ( $VO_2$ ), som ble målt én gang under hver av de fire arbeidsperiodene (se figur 2.3), viste ingen signifikante forskjeller mellom hovedtest A, B og C (figur 3.9). Det var heller ingen signifikante forskjeller mellom de to arbeidsperiodene av henholdsvis 25%  $VO_{2maks}$  (arbeidsperiode 1 og 3) og 40%  $VO_{2maks}$  (arbeidsperiode 2 og 4).



**Figur 3.9.** Gjennomsnittlig relativt oksygenopptak ( $VO_2$ ) i de fire arbeidsperiodene for hovedtest A, B og C. n=10.

### 3.2.6 Væsketap

Væsketap for hovedtest A, B og C er fremstilt i figur 3.10. Figuren viser relativt væsketap som vektreduksjon i prosent av kroppsmasse, korrigert for væskeinntak. Gjennomsnittlig væsketap viste en gjennomsnittlig mindre vektreduksjon ved hovedtest B sammenlignet med A, og C sammenlignet med B og A, men ingen signifikante forskjeller ble funnet verken for absolutt eller relativt væsketap.

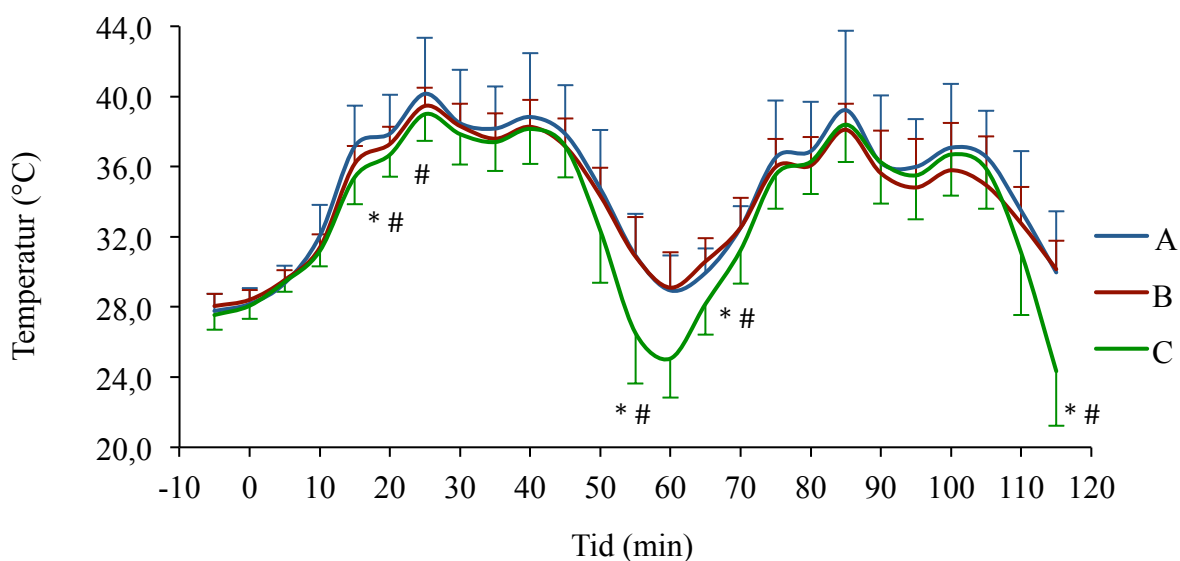


**Figur 3.10.** Gjennomsnittlig relativt væsketap i prosent (%) av kroppsmasse for hovedtest A, B og C. n=10.

### 3.2.8 Temperatur mellom inner- og ytterbekledning

#### *Fremside av overkropp (bryst)*

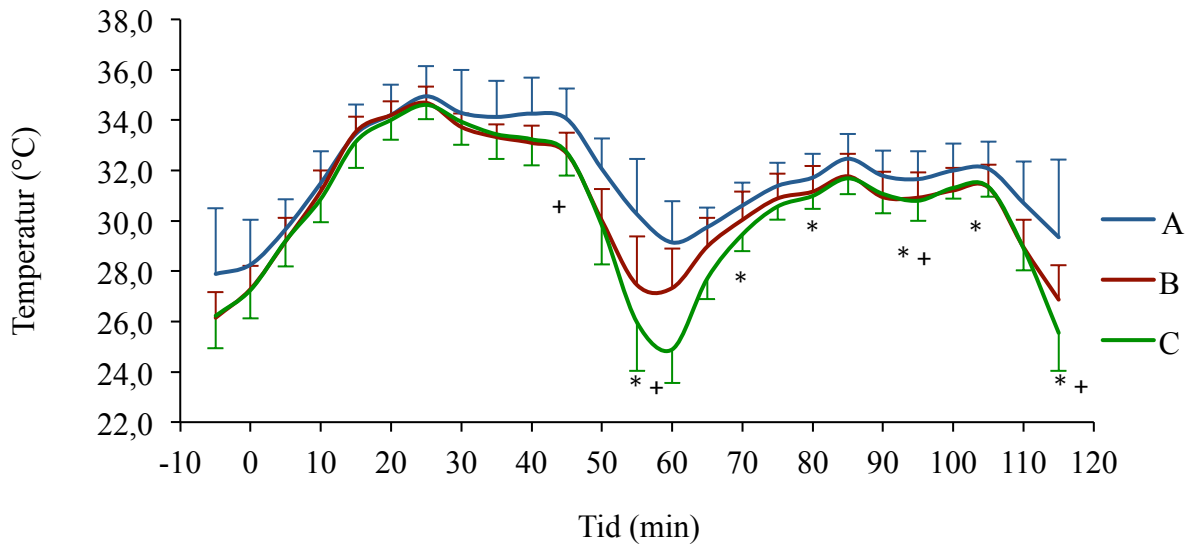
Figur 3.11 viser utvikling av temperatur mellom inner- og ytterbekledning på bryst for A, B og C. Det ble funnet signifikante forskjeller mellom inner- og ytterbekledning over tid mellom B – C og A – C. Ingen signifikant forskjell ble funnet ved sammenligning av A – B. Temperatur rett før start (minutt -5 i termisk stabilisering) for A, B og C var henholdsvis  $27,8 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ ,  $28,1 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$  og  $27,5 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ . I løpet av arbeidsperiode 1 (minutt 0-20) økte temperaturen signifikant mindre for C sammenlignet med B og A. I løpet av første hvileperiode (minutt 45-60) ble det målt en signifikant lavere temperatur på fremside av bryst mellom A – C og B – C. Temperaturen på brystet økte videre til rundt  $38^{\circ}\text{C}$  for alle tre hovedtester i de to påfølgende arbeidsperiodene, før en signifikant lavere temperatur på bryst ble målt igjen for A – C og B – C i andre og siste hvileperiode.



Figur 3.11. Temperatur mellom inner- og ytterbekledning på fremside av overkropp (bryst) for hovedtest A, B og C. n=10. \* indikerer signifikante forskjeller mellom A – C, # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C og + indikerer signifikante forskjeller mellom A – B. n=7.

### ***Bakside av overkropp (rygg)***

Figur 3.12 viser utvikling av temperatur mellom inner- og ytterbekledning på rygg for A, B og C. Det ble funnet signifikante forskjeller for temperatur mellom inner- og ytterbekledning på bryst over tid mellom A – B og A – C. Ingen signifikant forskjell ble funnet ved sammenligning av A – B. Temperaturen mellom inner- og ytterbekledning for de tre hovedtestene utviklet seg i løpet av første arbeidsperiode til en temperatur på rundt 34,5°C før den videre sank for alle tre hovedtester frem til første hvileperiode hvor temperatur på rygg for C sank signifikant lavere enn A, og B sank signifikant lavere enn A. Herfra lå C signifikant lavere enn A, samt B lå signifikant lavere enn A ved enkelte datapunkter fram mot slutten av hovedtestene. Gjennomsnittlig temperatur mellom inner- og ytterbekledning på rygg lå rundt 3°C lavere etter første hvileperiode for alle hovedtester.



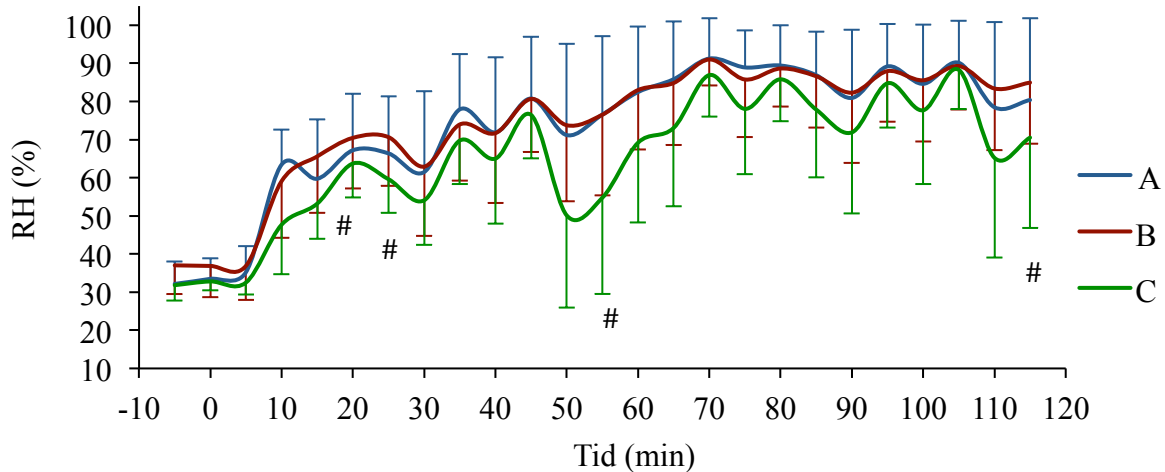
Figur 3.12. Temperatur mellom inner- og ytterbekledning på bakside av overkropp (rygg) for hovedtest A, B og C. \* indikerer signifikante forskjeller mellom A – C og + indikerer signifikante forskjeller mellom A – B. n=10.

### 3.2.9 Relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledning

#### *Fremside av overkropp (bryst)*

Figur 3.13 viser utvikling av relativ luftfuktighet (RH) mellom inner- og ytterbekledning på bryst for A, B og C. RH mellom inner- og ytterbekledningen i C var signifikant lavere enn A. Ingen signifikant forskjell ble funnet ved sammenligning av A – B og A – C. Enkelte signifikante forskjeller ble funnet mellom B – C, og disse ble registrert under arbeidsperiode 1, hvileperiode 1 og 2. RH mellom inner- og ytterbekledningen på bryst ble observert å øke til 80% i løpet før første hvileperiode, for deretter å igjen øke ytterligere opp mot 90% etter hvileperiode 1.

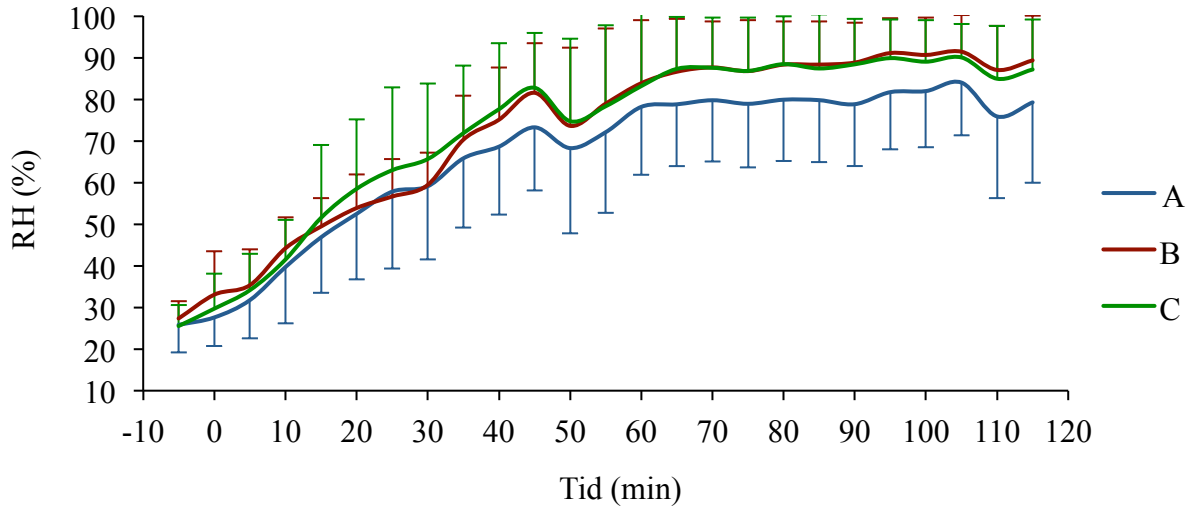




**Figur 3.13.** Relativ luftfuktighet (RH) mellom inner- og ytterbekledning på fremside av overkropp for hovedtest A, B og C. n=10. # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C. n=7.

#### ***Baksida av overkropp (rygg)***

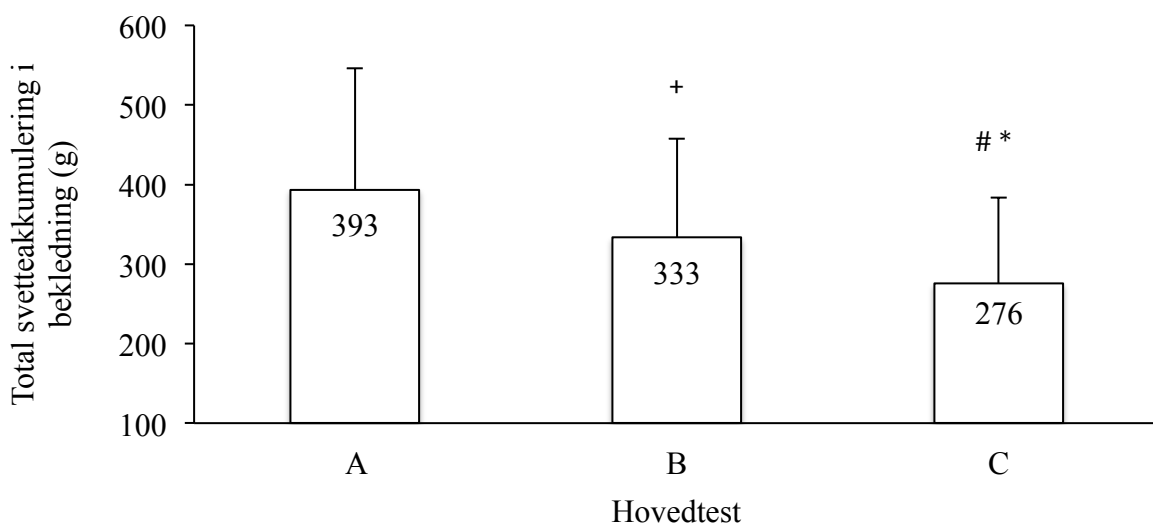
Figur 3.18 viser utvikling av relativ luftfuktighet (RH) mellom inner- og ytterbekledning på rygg for A, B og C. RH for B og C utviklet seg likt og var generelt høyere enn A, men det ble ikke funnet signifikante forskjeller over tid mellom de tre hovedtestene. RH for A, B og C var rett før start (minutt -5 i termisk stabilisering)  $26 \pm 7\%$ ,  $27 \pm 4\%$  og  $26 \pm 5\%$ . I løpet av arbeidsperiode 1 (minutt 0-20) økte RH til 53-59%. RH fortsatte å øke i påfølgende stillestående pause på 5 minutter, og i løpet av arbeidsperiode 2 (minutt 25-45) var RH økt til 73-83%. I løpet av første hvileperiode (minutt 45-60) sank RH med 5-6% før den økte til 78-84. I de påfølgende arbeidsperiodene økte RH for A, B og C og stabiliserte seg ved 80% for A og 90% for A og B. En dropp på 5-6% som sett ved første hvileperiode etterfulgt av en økning i RH ble observert i andre og siste hvileperiode (minutt 105-117).



**Figur 3.14.** Relativ luftfuktighet (RH) mellom inner- og ytterbekledning på bakside av overkropp for hovedtest A, B og C. n=10. n = 7.

### 3.2.10 Svetteakkumulering i bekledning

Akkumulering av svette i bekledningen i de tre hovedtestene er fremstilt i figur 3.15. Total svetteakkumulering for hovedtest A med bekledningstype 1 var  $393 \pm 153$  gram, hovedtest B med bekledningstype 2 var  $333 \pm 125$  gram, og hovedtest C med bekledningstype 2 (i tillegg til vifter i hvileperioder) var  $276 \pm 107$  gram. Det var en signifikant lavere svetteakkumulering i hovedtest B og C sammenlignet med A, og C sammenlignet med B.



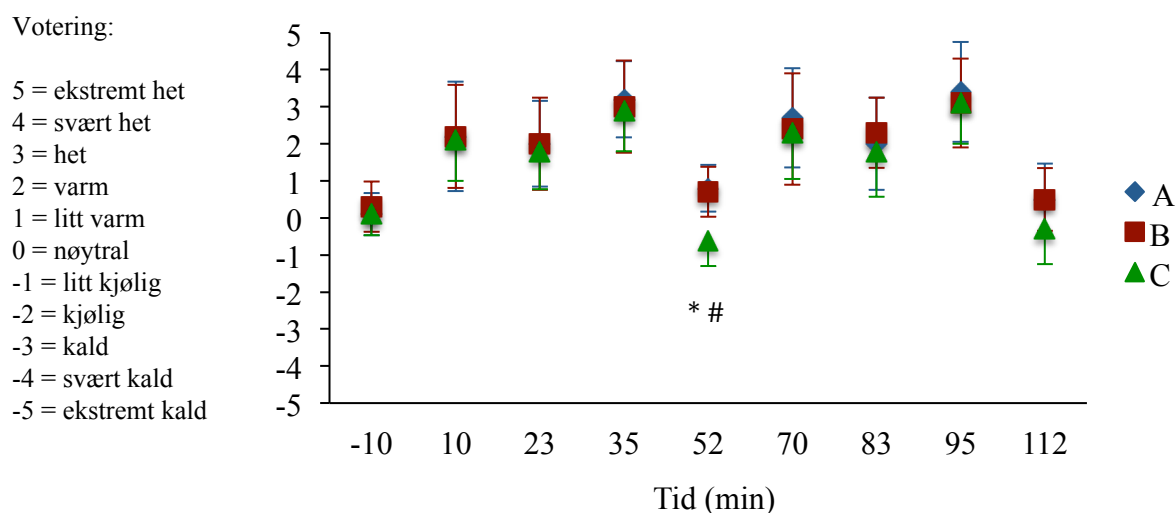
**Figur 3.15.** Total svetteakkumulering i vernebekledningen for hovedtest A, B og C. \* indikerer signifikante forskjeller mellom A – C, # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C og + indikerer signifikante forskjeller mellom A – B ( $p < 0,05$ ). n=10.

### 3.2.11 Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort

Forsøkspersonene voterte sin subjektive evaluering av termisk fornemmelse og komfort ved 9 ulike tidspunkt i løpet av testprotokollen (se figur 2.3)

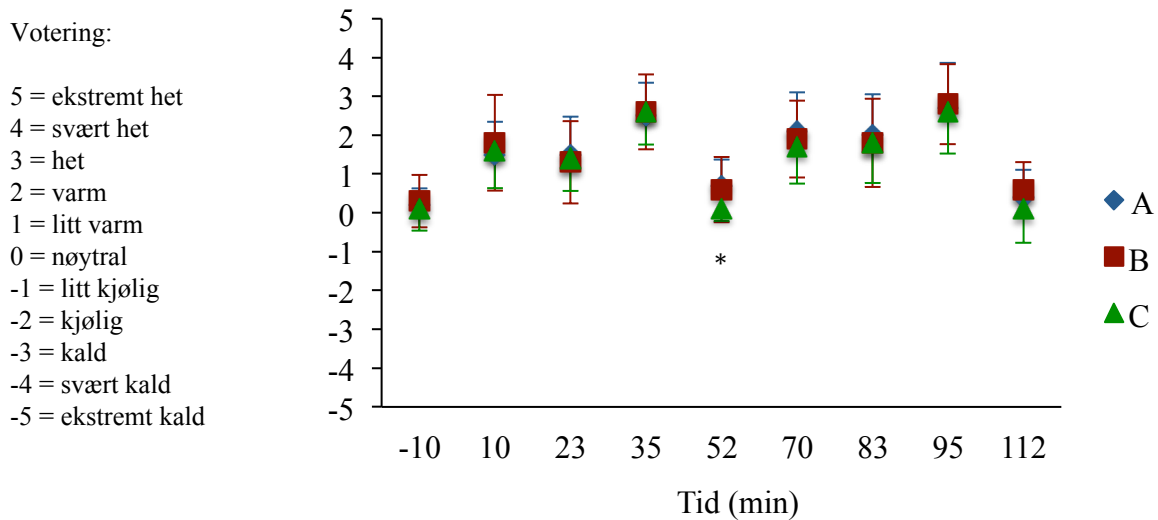
Det ble funnet signifikante forskjeller ved spørsmålene 1A, 1D, 3, 4 og 5. Alle forsøkspersoner følte seg termisk komfortable, normalt tørr i huden og nøytralt varme før start av alle hovedtester. Figurene 3.16 – 3.21 viser utvikling av subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort.

#### Spørsmål 1A – ”Hvordan føler du termisk din kropp?”



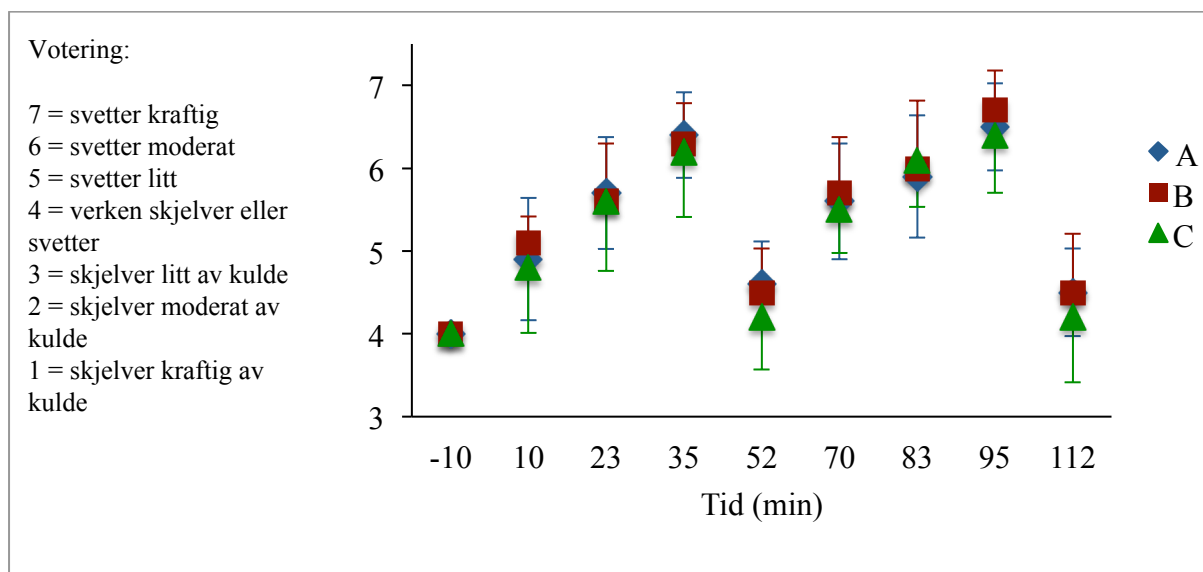
**Figur 3.16.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”hvordan føler du termisk din kropp” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.\* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C, # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C ( $p < 0,05$ ).  $n = 10$ .

**Spørsmål 1D – ”Hvordan føler du termisk ditt hode?”**



**Figur 3.17.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”hvordan føler du termisk ditt hode” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.\* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C ( $p < 0,05$ ).  $n=10$ .

**Spørsmål 2 – ”Skjelving / svetting?”**

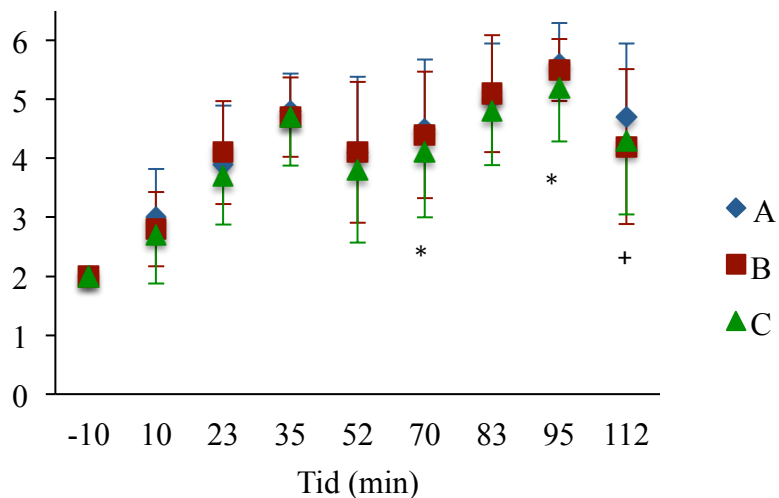


**Figur 3.18.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”skjelving / svetting?” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.  $n=10$ .

### Spørsmål 3 – ”Hvordan føles din hud?”

Votering:

- 6 = kroppen er våt og tøyet kleber til huden
- 5 = kroppen er våt
- 4 = bryst og rygg er våt
- 3 = bryst og rygg er lett våt
- 2 = normalt tørr
- 1 = mer tørr enn normalt

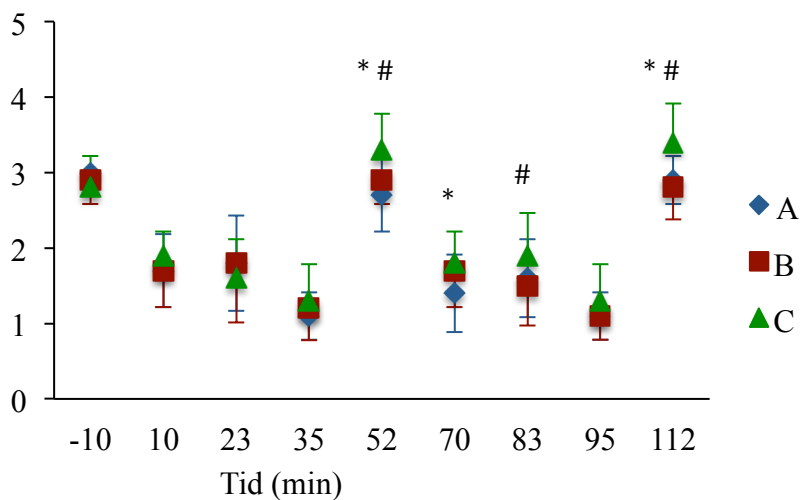


**Figur 3.19.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”hvordan føles din hud” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.\* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C og + indikerer signifikante forskjeller mellom A – B ( $p < 0,05$ ).  $n = 10$ .

### Spørsmål 4 – ”Hvordan ville du foretrukket omgivende temperatur?”

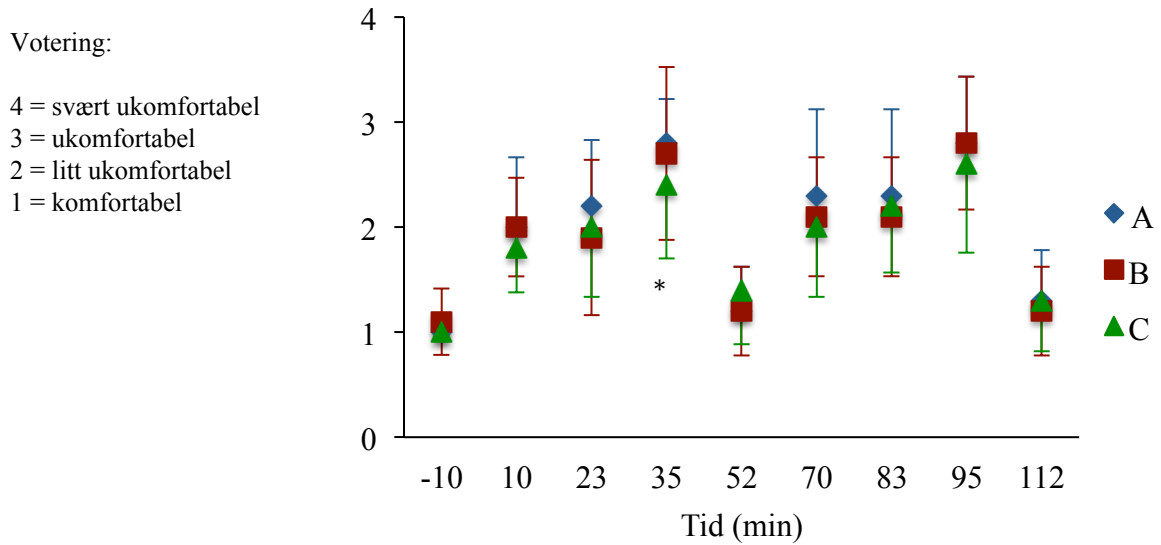
Votering:

- 5 = mye varmere
- 4 = litt varmere
- 3 = nøytral
- 2 = litt kjøligere
- 1 = mye kjøligere



**Figur 3.20.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”hvordan ville du foretrukket omgivende temperatur?” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.\* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C og # indikerer signifikante forskjeller mellom B – C ( $p < 0,05$ ).  $n = 10$ .

**Spørsmål 5 – ”Hvordan føler du deg termisk tilpass?”**



**Figur 3.21.** Votering av subjektiv evaluering for spørsmålet ”hvordan ville du foretrukket omgivende temperatur?” for hovedtest A, B og C ved 9 ulike tidspunkt.\* Indikerer signifikante forskjeller mellom A – C ( $p < 0,05$ ).  $n = 10$ .

## 4 DISKUSJON

### 4.1 Feltstudie

De målte fysiologiske parameterne  $T_{\text{hud}}$ ,  $T_{\text{kjerne}}$  og  $H_f$  tyder på at grad av anstrengelse var lik for sommer og vinter. Fra start til slutt av skiftet ble det målt en vektøkning både om sommeren og vinteren. Fra subjektive evalueringer av termisk fornemmelse og komfort, ble det vist tydelig høyere varmestress om sommeren sammenlignet med vinteren. Resultatene støtter ikke opp under hypotesen vår om at arbeiderne blir varmesset både sommer og vinter.

Fra gjennomsnittsmålingene av de fysiologiske parameterne ble det vist at arbeiderne jobbet ved en svært lik belastning om sommeren og vinteren, noe som kan forklares med at det samme arbeidet utføres uavhengig av årstid. En tydeligere forskjell ble derimot vist fra vurdering av de subjektive evalueringene av termisk stress og komfort. Resultatene fra voteringene i de subjektive evalueringene for sommer og vinter, viste at arbeiderne blir tydelig varmesset om sommeren når omgivelsestemperaturer inne i smelteverkshallen er opp mot  $28^{\circ}\text{C}$  og de blir utsatt for strålingsvarme fra smelteovner ved  $1600^{\circ}\text{C}$ . Om vinteren ble det ut ifra de subjektive evalueringene av termisk fornemmelse og komfort registrert en mindre grad av varmestress. Noen av voteringene kan faktisk vise til kuldestress om vinteren ettersom enkelte av arbeiderne følte seg noe kjølig og gjerne skulle hatt det litt varmere. Dette kan komme av en større temperaturgradient på fremside og bakside av kropp om vinteren når de jobber foran smelteovnen. Smelteverksarbeiderne får størsteparten av den intense varmestrålingen rettet mot fremsiden av kroppen, mens mindre eksponering skjer på bakside av kropp. Som nevnt innledningsvis er fuktig tøy sett i sammenheng med dårlig komfort ettersom dette fører til større friksjon og at klærne kleber til huden (Gwosdow, 1986; Fan og Tsang, 2008). Ettersom arbeiderne rapporterte om høyere grad av svette om sommeren, har dette dermed en logisk forklaring på den samtidige voteringen av lav komfort i tillegg til den høyere målte omgivelsestemperaturen om sommeren.

Det ble ikke kontrollert for hvor mye arbeiderne konsumerte av væske og mat i løpet av skiftet, noe som kan forklare den målte vektøkningen fra start til slutt av skiftet. Arbeiderne ble veid med bukse, sko og måleutstyr før og etter skiftet, og det ble korrigert for tørr vekt av bekledning og utstyr. Ettersom svette kan ha blitt akkumulert i tøyet i løpet av skiftet, kan dette i tillegg ha bidratt til en målt vektendring som i realiteten skulle vist en reduksjon.

## 4.2 Laboratoriestudie

Ny prototype vernebekledning viste signifikant mindre svetteakkumulering sammenlignet med dagens vernebekledning. Det ble funnet forskjell mellom hovedtest A (dagens vernebekledning) og C (ny prototype vernebekledning med vifte i hvileperioder) i gjennomsnittlige hudtemperaturer og subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort. Ingen forskjell i de målte fysiologiske parameterne ble målt ved sammenligning av hovedtest A og B (ny prototype vernebekledning).

### 4.2.1 Vernebekledningen (A versus B)

Vår første prediksjon var at den nyutviklede prototypen vernebekledning vil gi et redusert varmestress målt som lavere hudtemperaturer og hjertefrekvens, mindre væsketap og svetteakkumulering, bedre arbeidsøkonomi samt større positiv effekt på subjektiv vurdering av termisk fornemmelse og komfort sammenlignet med dagens vernebekledning.

Det er en vanskelig oppgave å utjevne det motstridende forholdet mellom beskyttelse mot metallsprut og mulighet for varmekvitting med vernebekledning for industriarbeidere eksponert til ekstrem varme (Rossi, 2014). Den nyutviklede prototypen vernebekledning for smelteverksarbeidere i elgskinn kombinert med tekstil i ryggparti på jakke viste ingen signifikante forskjeller på de fysiologiske parameterne sammenlignet med dagens bekledning. Begge bekledningstyper har god beskyttelse mot metallsprut ettersom de begge er utviklet i henhold til ISO 11612, og som sett fra Clo-verdiene på henholdsvis 1,98 og 2,05 for dagens vernebekledning og den nye prototypen vernebekledning. Isolasjonsverdien for de to bekledningstypene differensierte kun med 0,07 Clo, noe som i praksis ikke vil være forskjellig da denne differansen er tilnærmet isolasjonen til en shorts (Lee et al., 2013). Den svært lave differansen i isolasjonsverdi kan dermed forklare at det i vårt studie ikke ble funnet forskjeller med tanke på hudtemperaturer eller forskjeller i subjektiv evaluering ved bruk av den nye vernebekledningen. I tillegg til at skinn er erstattet med et lettere stoff på ryggpartiet i ny prototype, er det i den nye prototypen også introdusert et spacermateriale på øvre del av rygg, bryst og deler av armene for å løfte tekstilet fra kroppen, øke luftsirkulasjonen og gi mindre varmegjennomslag. Innføring av dette ekstra laget med tekstil vil imidlertid øke isolasjonsverdien i bekledningen.

At det ikke ble funnet forskjeller i hudtemperatur, kjernetemperatur og hjertefrekvens mellom de to bekledningstypene sammenfaller med lignende studier utført av Laing et al. (2008) og



Stapleton et al. (2011) som undersøkte effekt av syntetiske mot naturlige materialer i bekledding på fysiologiske parametere. Vernebekleddingene som ble sammenlignet i vårt studie var av hovedsakelig Brontoguard (spesialbehandlet naturlig skinnmateriale) for dagens bekledding, og en kombinasjon av elgskinn og blandingstekstil i ny prototype. Det var altså store forskjeller mellom bekleddingene med tanke på materialer, men forskjellene var til gjengjeld ikke gjenspeilet i de målte fysiologiske parametere. Verken i Laing et al. (2008) eller i Stapleton et al (2011) sine sammenligninger ved bruk av forskjellige typer bekledding av naturlige materialer (ull eller bomull) mot blandings- og syntetmaterialer under aktivitet, ble det funnet forskjeller i  $T_{\text{hud}}$ ,  $T_{\text{kjerne}}$  eller  $H_f$ . Det at forsøkspersonene i vår studie benyttet samme type innerbekledding bestående av 50% ull og 50% Lenzing FR® (spesialbehandlet cellulose lignende fibermateriale) ved bruk av begge typer vernebekledding, kan også ha innvirket på resultatene og være en ytterligere forklaring på at det ikke ble funnet forskjeller i de målte fysiologiske parametere. Innerbekleddingen som er i direkte kontakt med hudoverflaten der svetten produseres, vil ha en større betydning for transport av svette og varme vekk fra huden og utover i bekleddingslagene. Naturlige materialer er vist å ha en høy absorpsjonsevne, men dermed en begrenset evne når det kommer til transport av fukt mellom fibre til de ytre lagene av bekledding, og en konsekvens av dette er dermed en økt temperatur i bekleddingen som igjen vil føre til et økt termisk stress (Gavin, 2003). I en studie av Holmér et al (2006) ble det sammenlignet tre ulike bekleddingstyper for brannmenn med Clo-verdier fra 2,77-3,03 ved gange på tredemølle ved 50°C og 30% RH. I likhet med vår studie, ble det ikke funnet forskjeller i  $T_{\text{hud}}$ ,  $H_f$  eller  $T_{\text{kjerne}}$  mellom de ulike bekleddingstypene ved lik varmeeksponering og arbeidsbelastning. De konkluderte med at små forskjeller i henhold til design, tykkelse og isolasjonsverdi ikke hadde en effekt på det termoregulatoriske stresset.

#### *Hudtemperaturer*

Ingen forskjell i utvikling av  $T_{\text{hud}}$  mellom de to bekleddingstypene ble målt, og resultatet støtter derfor ikke prediksjonen om lavere  $T_{\text{hud}}$  ved bruk av ny prototype bekledding sammenlignet med dagens vernebekledding. I de tre hovedtestene ble det målt økt  $T_{\text{hud}}$  under arbeidsperiodene og en redusert  $T_{\text{hud}}$  i de stillesittende hvileperiodene.  $T_{\text{hud}}$  påvirkes i stor grad av omgivelsestemperatur (Saltin et al., 1968), og  $T_{\text{hud}}$  ved bruk av bekledding vil igjen påvirkes av temperaturen i mikroklimaet mellom kropp og bekledding. Hudtemperaturer øker i varme omgivelser som følge av vasodilatasjon igangsatt av effektormekanismer for å fasilitere varmetap. I tråd med tidligere funn av Rowell (1974) og Gonzáles-Alonso et al.

(2008) målte vi at  $T_{\text{hud}}$  økte ved arbeid under eksponering til varme. Varmt blod fra kroppskjernen ledes ut til kroppens periferi og hudoverflaten blir varmere som følge av dette. Økt  $T_{\text{hud}}$  er en viktig mekanisme for å opprettholde temperaturgradienten mellom huden og den omgivende luften for å fasilitere varmekvitning og opprettholde den evaporative gradienten mellom hud og luft som særlig er viktig under aktivitet i varmen (Alber-Wallerström og Holmér, 1985; Webb, 1995; Havenith et al., 2013).

Temperaturen mellom inner- og ytterbekledning på bryst søkte for begge bekledningstypene til rundt  $36^{\circ}\text{C}$  i løpet av arbeidsperiode 1 og 3 (relativ arbeidsbelastning tilsvarende 25% av forsøkspersonens  $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ), og deretter videre til rundt  $38^{\circ}\text{C}$  i løpet av arbeidsperiode 2 og 4 (relativ arbeidsbelastning tilsvarende 40% av forsøkspersonens  $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ). Den høye temperaturen i mikroklimaet på bryst mellom kropp og bekledning gjenspeiles i den målte  $T_{\text{bryst}}$ . Ved bruk av de to bekledningstypene steg  $T_{\text{bryst}}$  til rundt  $36,5^{\circ}\text{C}$  i arbeidsperiodene. Den høyere temperaturen i mikroklimaet mellom kropp og bekledning utgjorde under hovedtestene en temperaturgradient på  $1,5^{\circ}\text{C}$  på det meste, noe som førte til en retning av varmeoverføring fra mikroklimaet på innsiden av bekledning til kropp, noe som igjen førte til økt  $T_{\text{bryst}}$ . Den høye isolasjonsverdien til de to bekledningstypene, og skinn som materiale gir en lav permeabilitet. Bekledningen førte i dette tilfellet til økt temperaturakkumulering i mikroklimaet innenfor jakken, som igjen førte til en absorpsjon av varme i huden på brystet. Isolasjonen til bekledningen av ikke-permeable materialer er tidligere vist å føre til et mikroklima med høyere temperatur og RH enn i omgivelsesforholdene utenfor bekledningen (Bishop et al., 2000). Det samme er målt i vår studie der både temperatur og RH mellom inner- og ytterbekledning på bryst og rygg hadde høyere verdier enn i omgivelsesforholdene som var regulert til  $25^{\circ}\text{C}$  og 35% RH. Vi predikerte at  $T_{\text{hud}}$  ved bruk av ny prototype vernebekledning ville være lavere enn ved bruk av dagens bekledning ved identisk varmeeksponering. Vår studie viste ingen forskjell i  $T_{\text{hud}}$  ved sammenligning av de to bekledningstypene. Som nevnt tidligere, sammenfaller dette resultatet med resultater i studien av Holmér et al. (2006)

Utviklingen av  $T_{\text{rygg}}$  viste ingen forskjell mellom bekledningstypene. Det ble derimot målt en signifikant forskjell i mikroklima mellom inner-og ytterside av bekledning på ryggen. Det ble registrert fire punkter hvor temperaturen i mikroklimaet lå signifikant lavere ved bruk av ny prototype i hovedtest B sammenlignet med bruk av dagens bekledning i hovedtest A. Ettersom to av disse punktene ble registrert i hvileperiodene hvor forsøkspersonen ikke hadde

på seg jakke, forklares resultatene med dette.  $T_{\text{hud}}$  var for begge bekledningstyper lavere enn temperaturen mellom inner- og ytterbekledningen på rygg gjennom hele protokollen. Dette skaper en temperaturgradient som gjør at varmetapet går i retning fra kropp til omgivelser via bekledningen etter mekanismene for varmeutveksling.

### *Hjertefrekvens*

Det var ingen forskjell i hjertefrekvens mellom de to bekledningstypene, og resultatene støttet derfor ikke opp mot vår prediksjon om lavere hjertefrekvens ved bruk av ny prototype sammenlignet med dagens vernebekledning. Det foreligger et lineært forhold mellom hjertefrekvens og arbeidsbelastning (Åstrand et al. 2003), og flere studier har vist en økning i hjertefrekvens i varme omgivelser (Claremont et al., 1975; Kruk et al., 1991; Galloway og Maughan, 1997), og ved økt kjernetemperatur og muskeltemperatur (Bergh og Ekblom, 1979). En høyere hjertefrekvens i varme kontra kalde omgivelser blir forklart med at det skjer en redistribusjon av blodet ut i periferien for temperaturregulering ved varmeeksponering. Resultatet blir da en kompensert økning i hjertefrekvens for å opprettholde minuttvolumet (Claremont et al 1975). Det sentrale blodvolumet reduseres, og derfor også slagvolumet, som blir kompensert for med økt hjertefrekvens (Gonzalés-Alonso et al., 1997). Det er vist små forandringer i det lineære forholdet mellom  $H_f$  og arbeidsbelastning ved ulike omgivelsestemperaturer (Moore et al 1970; McArdle et al 1976). Med bakgrunn i dette kan mangel på forskjell i utviklingen av HF i vårt studie forklares med den identiske arbeidsbelastningen i hovedtestene i kombinasjon med tilnærmet lik isolasjonsverdi og vekt til de to vernebekledningene.

### *Arbeidsøkonomi*

Vektforskjellen mellom dagens vernebekledning og den nye prototypen var for de testede størrelsene M og L ikke mer enn 400 gram. I henhold til studiene av Dorman og Havenith (2009) som studerte effekten av bekledningsvekt på arbeidsbelastning, vil en redusert vekt på 400 gram kun tilsvare en estimert reduksjon i oksygenopptak på 1,08%. En forskjell av denne størrelse vil i praksis ikke være merkbar ved arbeid på submaksimale belastninger, og være for liten til å være signifikant, noe som samsvarer med våre resultat fra sammenligning av arbeidsøkonomi målt som oksygenopptak. Smelteverksarbeidere i felt benytter vernesko, men av hensyn til forsøkspersonene fikk de benytte egne joggesko under hovedtestene for å forhindre for stor belastning på føttene ved gange på tredemølle. Studier av Taylor et al. (2012) har vist at bruk av vernesko ved samtidig bruk av full vernebekledning for brannmenn

resulterte i en høyere  $VO_2$  under arbeid sammenlignet med kontroll, og en årsak til dette er foreslått å være at ekstra tyngde på føtter og ankler reduserer bevegelseeffektiviteten. Dette er også vist i tidligere studier av Jones et al. (1984) der bruk av vernesko resulterte i en signifikant høyere  $VO_2$  sammenlignet med bruk av joggesko ved alle testede gang- og løpshastigheter. Bruk av vernesko fremfor joggesko ville derfor i vår studie ha ført til en høyere målt  $VO_2$ , men med bakgrunn i at testprotokoll var identisk for alle hovedtestene, og at vekten til bekledningen allerede var tilnærmet lik, ville det med stor sannsynlighet ikke blitt målt noen forskjell. Dette er på en annen side noe å ta i betraktning ved fremtidig testing.

### *Væsketap*

Det ble ikke funnet forskjeller i gjennomsnittlig væsketap mellom de tre hovedtestene. Flere studier har rapportert økt svetterate ved høyere omgivelsestemperaturer (Claremont et al., 1975; Galloway og Maughan, 1997; Sparks et al., 2005). Grad av svette varierer mye mellom personer, selv ved lik økning i kjernetemperatur (Havenith et al., 2008; Kenefick et al., 2007), og avhenger i stor grad av funksjonen til svettekjertlene (Kenzo og Dobson, 1970). Det ble i alle hovedtestene tilført væske for rehydrering hos forsøkspersonene i de stillesittende hvileperiodene for å forhindre dehydrering. Målt væsketap i hovedtestene var under 1% av kroppsmasse for alle forsøkspersonene, noe som tyder på tilstrekkelig hydrering i henhold til ISO 9886, som definerer en grense på 5% som akseptabelt. Store individuelle forskjeller i grad av svette fører til store variasjoner i totalt væsketap mellom personer, hvilket kan forklare det målte, men ikke signifikant mindre væsketapet ved bruk av ny prototype vernebekledning sammenlignet med bruk av dagens vernebekledning. I følge Murray (2007) synker prestasjonen ved et væsketap på over 2 % av kroppsvekten, men det er også er noe belegg for at prestasjon kan bli negativt påvirket ved et væsketap mindre enn dette (Walsh et al., 1994). Det er et overordnet mål for smelteverksarbeidere å kunne arbeide i vernebekledning uten at prestasjonsevnen skal reduseres. Mål på prestasjon ble ikke undersøkt i vår studie.

### *Rektaltemperatur*

Vi predikerte ikke at utvikling i kjernetemperaturen ville være forskjellig mellom de to bekledningstypene på grunn av lik arbeidsbelastning. Det ble ikke målt forskjeller i utviklingen av kjernetemperatur mellom de to bekledningstypene, noe som støtter vår prediksjon. Den maksimale økningen i  $T_{re}$  fra start i de tre hovedtestene A, B og C var mellom 0,6-0,8°C. Tidligere studier av Montain og Coyle (1992) har vist at tilstrekkelig

væsketilførsel under arbeid i varmen bidrar til å forhindre en rask økning i kjernetemperatur. Ved tidligere sammenligning av aktiviteter ved ulike  $T_a$  har kjernetemperaturen vist å øke uavhengig av klimatiske forhold innenfor store temperaturområder (5-30°C), men blir i aller største grad å påvirket av den metabolske raten (Nielsen og Nielsen, 1962; Saltin et al., 1968; Asmussen og Hohwü-Christensen, 1985). Borg et al. (2015) fant i en komparativt studie ved arbeidsperioder på 30 min i 21, 30 og 37°C ingen forskjell i rektaltemperaturer mellom testene, og en forklaring på dette var at metabolsk varmeproduksjon var den eneste årsaken til økning i  $T_{re}$  (Tattersson et al., 2000). På grunn av at testprotokollen i vår studie med arbeidsperioder på 20 minutter avbrutt med vekselvis stillestående pauser og lengre stillesittende hvileperioder, ble det ikke oppnådd stabilisering av  $T_{re}$  under hovedtestene. Høyeste målte  $T_{re}$  for forsøkspersonene i A, B og C var 37,6-37,7°C, hvilket er under grensen for hypertermi. Metabolsk varmeproduksjon korrelerer med arbeidsbelastning, og høyere  $T_{re}$  vil dermed kunne sees i perioder med høy arbeidsbelastning, mens det ved lavere arbeidsbelastning og inaktivitet vil kunne registreres lavere  $T_{re}$ . Protokoll for de tre hovedtestene var identiske, og arbeidsbelastningen var beregnet ut fra hver enkelt forsøksperson sin  $VO_{2maks}$  slik at de gikk på tredemølle ved en belastning på 25% og 40% av sin  $VO_{2maks}$  i de ulike arbeidsperiodene. På grunn av identisk protokoll med lik arbeidsbelastning i alle tre hovedtester for hver enkelt forsøksperson, medførte dette en tilnærmet identisk varmeproduksjon på grunn av lik metabolsk rate. At  $T_{re}$  mellom de ulike hovedtestene og mellom de to bekledningstypene ikke var forskjellige, var derfor forventet. Det kan imidlertid tenkes at den virkelige økningen i  $T_{re}$  kan være noe høyere ettersom måling av kjernetemperatur med rektalprobe gir en forsinkelse i temperaturregistrering sammenlignet med temperaturmålinger i øregang eller spiserør (Mekjavic et al., 1992). Dette vil føre til registrering av en lavere kjernetemperatur ved et aktuelt tidspunkt for rask varmelagring, og en høyere temperatur ved et aktuelt tidspunkt for raskt varmetap. Til tross for en forsinket følsomhet i temperaturforandringer ved bruk av rektalprobe, er den fremdeles en representativ indikator for kroppstemperatur ettersom den i stor grad korrelerer med hjernetemperatur (Åstrand et al., 2003).

### *Svetteakkumulering*

Selv om totalt væsketap ikke var forskjellig mellom de to bekledningstypene, var svetteakkumuleringen i den nye prototypen signifikant lavere sammenlignet med dagens bekledning. Som vist fra kroppskartet for regionalt svettetap fra studiene til Smith og Havenith (2011) m.fl. er det vist høyest svetterate sentralt på ryggen. Den nye prototypen

vernebekledning er blitt utviklet med hensyn til dette og inkluderte derfor et semipermeabelt tekstil i ryggparti i jakke for å bedre transport av fukt til yttersiden av jakken hvor fordamping kan skje, samtidig som det ved utvalgte steder var inkorporert et spacer-tekstil med en tredimensjonal struktur som gav større mulighet for luftsirkulasjon i bekleddingen. Disse endringene i materiale gjenspeiles i den signifikante lavere svetteakkumuleringen som ble registrert mellom dagens vernebekledning og den nye prototypen. Resultatene støtter dermed vår prediksjon om en lavere svetteakkumulering i den nye bekleddingen.

#### *Relativ fuktighet under bekleddingen*

Ingen forskjeller i RH i mikroklima mellom kropp og ytterbekledning på ryggen ble funnet ved sammenligning av de to vernebekleddingene. RH i mikroklimaet under jakke på ryggen for dagens bekledding ble målt opptil 80%, mens RH i samme område for prototypen målte opptil 90%. Den noe høyere RH mellom inner- og ytterbekledning på rygg for den nye prototypen vernebekledning kan tyde på en høyere evaporativ varmeoverføring fra kropp via innerbekledning på grunn av det mer permeable tekstilet på ryggpartiet. En bedre transport av fukt fra innside av bekleddingen og ut til omgivelsene er i tillegg gjenspeilet i den totale svetteakkumuleringen i de to bekleddingstypene som viste en signifikant lavere svetteakkumulering i den nye prototypen sammenlignet med dagens vernebekledning.

#### *Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort*

Fanger (1970) var den første til å definere bekleddingskomfort, en komfortgrad som er påvirket av flere faktorer, deriblant hudtemperatur og fuktighet. Studier av bekleddingskomfort har vist lavere termisk fornemmelse, redusert svettefornemmelse og større grad av komfort under arbeid ved bruk av syntetisk kontra naturlig materiale i bekledding (Roberts et al., 2007; Brazaitis et al., 2010).

Forsøkspersonene følte seg nøytrale med tanke på sin termiske fornemmelse av varme før start av testprotokollen ved bruk av begge bekleddingstyper. De følte samtidig at de hadde normalt tørr hud, verken svettet eller skalv, og var termisk komfortable før start. Deretter utviklet deres votering av termiske fornemmelse og komfort seg svært likt i de ulike arbeidsperiodene. Forsøkspersonene rapporterte ikke forskjellig grad av svetting for begge bekleddingstyper, hvilket vil si at forsøkspersonene følte de svettet like mye med dagens vernebekledning som de gjorde med den nye prototypen. Dette er i overenstemmelse med det målte væsketapet som ikke var forskjellig mellom bekleddingene. Forsøkspersonene ytret

imidlertid at det var vanskelig å avgi en reell votering av svettefornemmelse ettersom de allerede etter første arbeidsperiode hadde svettet moderat og innerbekledningen var våt. Yamauchi og Morooka (2002) studerte effekten av RH i bekledning på menneskers subjektive fukt-fornemmelse og viste at RH i bekledning er nærmere relatert til følelsen av komfort enn den er til termisk fornemmelse. I sitt studie av klærs termiske egenskaper sin effekt på fornemmelse av termisk komfort under sportsaktiviteter viste Fan og Tsang (2008) at akkumulering av fuktighet i bekledning korrelerte sterkt med følelsen av termisk komfort. De seks variablene som påvirker termisk komfort, som introdusert innledningsvis, kan sees i sammenheng med de generelt like voteringene av subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort i vårt. De to subjektive faktorene (metabolsk rate og Clo-verdi) var like mellom bekledningstypene, samtidig som forsøkspersonene ble eksponert for like omgivelsesforhold ( $T_a$ , RH, strålingstemperatur, og luftstrøm inne i klimakammeret). Ut ifra dette ville det være stor sannsynlighet for at det ikke ville bli registrert store forskjeller i de subjektive evalueringene mellom de to bekledningstypene. Den eneste signifikante forskjellen i subjektiv evaluering mellom de to bekledningstypene ble målt i andre og siste stillesittende hvileperiode hvor forsøkspersonene svarte at de følte seg mindre våte på kroppen ved bruk av ny prototype sammenlignet med dagens vernebekledning. Den termiske komforten var imidlertid lik gjennomgående. At det ikke ble registrert forskjeller i komfort kan sees i sammenheng med våt innerbekledning og bukse som under hele testen var i direkte kontakt med huden. Ettersom vått tøy både skaper større friksjon og er sett i sammenheng med dårligere komfort (Gwosdow, et al, 1986), er dette en mulig forklaring på at det ikke ble sett signifikante forskjeller her. Resultatene støtter med dette ikke opp under vår hypotese om økt komfort ved bruk av ny prototype vernebekledning.

#### 4.2.2 Metode for avkjøling (C versus A og B)

Den andre prediksjonen i vår studie var at den nyutviklede prototypen vernebekledning i kombinasjon med vifte i stillesittende hvileperioder (hovedtest C) vil gi større positiv effekt på målte fysiologiske parametere (hudtemperaturer, hjerterefrekvens, væsketap), svetteakkumulering i bekledning, bedre arbeidsøkonomi etter avkjøling, og større positiv effekt for subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort sammenlignet med bruk av prototype vernebekledning alene (hovedtest B). Resultatene støtter prediksjonen vår for hudtemperatur, subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort, og svetteakkumulering.

##### *Fysiologiske parametere*

Avkjøling ved bruk av vifte med luftstrøm på  $0,6 \text{ m} \cdot \text{sek}^{-1}$  i stillesittende hvileperioder i hovedtest C førte til en signifikant reduksjon i  $T_{\text{hud}}$ . Forklaringen er at selv en liten mengde luft i bevegelse over huden øker konveksjon og samtidig fordampning av svette fra huden, som igjen fører til varmetap (Watkins, 1984). Omgivelsestemperaturen i hvileperiodene var  $22,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ , og dermed rundt  $13^{\circ}\text{C}$  lavere enn  $T_{\text{hud}}$  som for de tre hovedtestene målte ca.  $35,5^{\circ}\text{C}$  ved starten av hvileperiodene. Den relative luftfuktigheten i rommet i hvileperiodene var  $27,4 \pm 5,1\%$ , hvilket er en generelt lav luftfuktighet som gir en stor gradient for evaporativt varmetap (Parsons, 2014). Temperaturgradienten på  $13^{\circ}\text{C}$  mellom hud og omgivende luft ved start av hvileperioden førte til en reduksjon i  $T_{\text{hud}}$  på kun  $1^{\circ}\text{C}$  for hovedtest A og B.  $T_{\text{hud}}$  for hovedtest C førte til en signifikant større reduksjon på  $2^{\circ}\text{C}$  i løpet av de 10 minuttene med eksponering til luftstrøm på  $0,6 \text{ m} \cdot \text{sek}^{-1}$ . En stor temperaturgradient i kombinasjon med bevegelse i omgivende luft viste fra de utførte testene en hurtigere reduksjon i  $T_{\text{hud}}$ . Dette er i overensstemmelse med tidligere studier med benyttelse av vifte som helkroppsvil avkjølingsmetoder på 10 minutter mellom arbeidsperioder i varme iført vernebekledning for brannmenn (Carter et al., 1999). I studier av ulike metoder for avkjøling av Selkirk et al. (2004) ble det funnet signifikant effekt på kardiovaskulært og termisk stress gjenspeilet i lavere økning i  $H_f$  og  $T_{re}$  i påfølgende arbeidsperioder sammenlignet med kontroll, og førte til at forsøkspersonene kunne arbeide 25% lengre.  $T_{\text{hud}}$  var i vårt studie signifikant lavere i slutten av første hvileperiode og de neste 20 minuttene i den påfølgende arbeidsperioden. Dette kan indikere at avkjølingen i hvileperioden bidro til en saktere økning i  $T_{\text{hud}}$  på grunn av et større varmetap i hvileperioden. Det samme ble vist for  $T_{\text{rygg}}$ .  $T_{\text{bryst}}$  var signifikant lavere etter bruk av vifte i hvileperiode 1, men dette ble ikke vist i hvileperiode 2.



### *Rektaltemperatur*

Durst et al. (2000) hypotetiserte at kjernetemperatur vil øke i en større grad ved vekslende arbeidsperioder sammenlignet med kontinuerlig arbeid. Dette forklares med at de fysiologiske responsene ved vekselvis av-og-på-aktiviteter karakteriseres av høyere nivåer termisk stress sammenlignet med kontinuerlig arbeid av samme anstrengelsesgrad (Ranalli et al., 2010). Studier av Selkirk et al. (2004) har vist en reduksjon i  $T_{re}$  når underarmene senkes ned i isbad mellom arbeidsperioder sammenlignet med kontroll. I vår studie ble det ikke funnet forskjeller i  $T_{re}$  ved bruk av vifte som avkjølingsmetode sammenlignet med avkledning som avkjøling, noe som heller ikke var predikert.

### *Hjertefrekvens*

Effekten av avkjøling i pausene var ikke tilstrekkelig til å gi noen forskjeller i Hf, og resultatet støtter ikke opp under vår prediksjon om redusert Hf som følge av avkjøling i hvileperioder. Reduksjon i Hf er derimot blitt vist i studier med større grad av effektiv avkjøling, deriblant med nedsenking av underarmer i isbad (Livingstone et al., 1989; House, 1998; Selkirk et al., 2004) og ved bruk av kjølevest (Webster et al, 2005; Smolander et al., 2004).

### *Arbeidsøkonomi*

Ingen reduksjon ble målt i oksygenopptak etter hvileperiode med avkjøling ved bruk av vifte sammenlignet med avkledning alene som avkjølingsmetode. Dette resultatet støtter derfor ikke opp mot vår prediksjon om bedret arbeidsøkonomi etter hvileperiode med avkjøling med vifte. Smolander et al. (2004) undersøkte effekt av avkjøling med kjølevest før og mellom arbeidsperioder på prestasjon og viste at forsøkspersonene hadde en 10% lenger utholdenhet ved bruk av kjølevest før arbeidsperioden sammenlignet med protokoll. Dette tyder på at bruk av vifte i vår studie hadde en for lav grad av avkjøling for å innvirke på arbeidsøkonomien.

### *Væsketap*

Ingen signifikant forskjell i reduksjon i væsketap ble målt ved bruk av vifte som avkjølingsmetode sammenlignet med avkledning. Som nevnt tidligere, inntok forsøkspersonene vann for å forhindre dehydrering og varmerelaterte symptomer, samtidig som arbeidsbelastning, isolasjonsverdi til bekledning og varmeeeksponering var lik for alle hovedtestene. Avkjølingsmetoden med vifte reduserte altså ikke det termiske stresset

tilstrekkelig i hvileperiodene, og førte dermed til et væsketap i hovedtest C som ikke var signifikant forskjellig fra de to andre hovedtestene.

### *Svetteakkumulering*

Forsøkspersonene svettet mye (mellom 420-535 gram) under alle hovedtestene, og svette ble akkumulert i bekleddingen i en slik grad at ulltrøye og bukse følte merkbart vått (noe som kan sees fra de subjektive evalueringene for svette og følelse av våthet på huden). Ettersom vått tøy isolerer dårligere enn tørt tøy av samme kvalitet (Kenney et al., 1993; Holmér, 1985), kan det derfor tenkes at forsøkspersonene i hovedtest C økte sitt varmetap og hastigheten av fordamping av svette fra bekledding som følge av luftstrøm fra vifter som gav en større fordampningseffekt i hvileperiodene. Denne effekten er gjenspeilet i en signifikant lavere svetteakkumulering i hovedtest C sammenlignet med svetteakkumulering i hovedtest A og B. Den lavere svetteakkumuleringen i hovedtest C, støtter opp mot vår prediksjon om redusert svetteakkumulering i ny bekledding i kombinasjon med vifte i hvileperioder. Resultatene for den signifikant lavere svetteakkumuleringen i den nye prototypen indikerer samtidig viktigheten av et permeabelt stoff på ryggparti for å redusere isolasjon og bedre det evaporative varmetapet.

### *Temperatur og relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledding*

Fra og med første hvileperiode og ut til hvileperiode 2 var temperaturen mellom inner- og ytterside av bekleddingen på rygg signifikant lavere etter avkjøling med vifte. En signifikant lavere temperatur på bryst mellom inner- og ytterbekledding ble målt de første 10 minuttene etter avkjøling med vifte. RH mellom inner- og ytterbekledding på rygg viste ingen forskjell, mens RH på bryst viste signifikant forskjell i hvileperiodene. Dette forklares med at forsøkspersonene i hvileperiodene ikke hadde på seg jakke, og at temperatur og RH her ble påvirket av luftstrømmen fra viftene.

### *Subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort*

Det ble vist en effekt på subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort ved bruk av vifte i hvileperiodene. Forskjellene var i den termiske fornemmelsen av kropp og hode, følelse av våthet på hud, og hvordan forsøkspersonene ville ha foretrukket omgivende temperatur. En forskjell mellom hovedtest A og C i grad av termisk komfort ble observert, men dette var i slutten av arbeidsperiode 2, altså før den første hvileperioden.

Forsøkspersonene følte seg signifikant mindre varm i hvileperiode 1 i hovedtest C

sammenlignet med A og B. Det er samtidig interessant å notere seg at forsøkspersonene i denne første hvileperioden rapporterte en følelse av å være mellom ”nøytral” til ”litt kjølig”. Det at de her følte seg litt kjølig kan igjen sees fra voteringen av hvordan de ville foretrukket omgivende temperatur hvor de ønsket en omgivelsestemperatur i underkant av litt varmere. Bruk av vifter som genererer en luftstrøm, vil frakte varm luft vekk fra kroppen via konvektive luftstrømmer, og fasiliterer samtidig fordamping av svette ved å øke fordampingsgradienten relativt til stillestående luft (Watkins, 1984). Fordamping av svette fra hud og klær reduserer våtheten av hud, hvilket er assosiert med generell termisk komfort; økt våthet av hud fører til redusert komfort. Denne effekten er blant annet sett fra to datapunkt i påfølgende arbeidsperiode etter den første hvileperioden hvor hovedtest C var signifikant lavere ved spørsmål om våthet på hud. Avkjølingen kan ha utgjort en forskjell for spørsmålet om hvordan forsøkspersonene ville foretrukket sin omgivende temperatur etter første hvileperiode, hvor forsøkspersonene i hovedtest C rapporterte å ville ha det litt mindre kjølig sammenlignet med A og B.

## **5 KONKLUSJON**

### **5.1 Feltstudie**

Arbeidsoppgavene hos smelteverksarbeiderne er de samme om sommeren og vinteren, men termisk stress oppleves forskjellig. Om sommeren føler arbeiderne seg svært varme, de svetter mye og er ukomfortable. Om vinteren føler de seg mindre varme, svetter i mindre grad, og er mer komfortable. Den høyere målte omgivelsestemperaturen inne i smelteverkshallene om sommeren (rundt 28°C) i kombinasjon med varmestråling fra smelteovner kan forklare den høyere rapporterte graden av varmemstress sammenlignet med vinteren der omgivelsestemperaturene inne i hallene ble målt til rundt 12°C.

### **5.2 Laboratoriestudie**

Nyutviklet prototype vernebekledning viste en signifikant lavere svetteakkumulering i forhold til dagens vernebekledning, noe som videre resulterte i en signifikant lavere temperatur i mikroklima mellom inner- og ytterbekledningen på ryggen. Det ble ikke registrert forskjeller med tanke på termisk stress målt fra de fysiologiske parameterne.

Vifte som avkjølingsmetode i hvileperioder resulterte i signifikante forskjeller i hudtemperaturer og subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort, og kan anbefales å bruke for smelteverksarbeidere i pauser for å lette det termiske stresset ved å fasilitere ytterligere fordamping av svette og varmetap ved konveksjon. En signifikant lavere svetteakkumulering ble målt ved bruk av vifte under hvile. Det ble målt signifikant lavere økning i  $T_{\text{hud}}$ ,  $T_{\text{rygg}}$ , signifikant lavere temperatur mellom inner- og ytterbekledningen på bryst og rygg, samt signifikant positiv effekt på følelse av våthet på hud og foretrukket omgivelsestemperatur de påfølgende 20- 40 minuttene etter avkjøling. Resultatene viser at bruk av vifte er effektivt for å redusere de ovenfor nevnte parameterne og samtidig kan virke kjølede før og mellom arbeidsperioder.

### **5.3 Fremtidige studier**

Det ble ikke sammenlignet temperaturforskjeller på fremside mot bakside av kroppen. Det ville derfor vært interessant å sammenligne gradienten mellom  $T_{\text{bryst}}$  og  $T_{\text{rygg}}$  for de to beklledningene.

Ettersom vekten av vernebekledningen (ekskludert sko) veier rundt 5 kg, hadde det vært interessant å undersøke bruk av en lettvekts kjølevest med sirkulerende vann slik det er blitt gjort i studier med brannmenn for å teste avkjøling *under* arbeid. I vår studie ble vifte funnet å redusere hudtemperaturer under hvile, samtidig som avkjølingsmetoden viste positiv effekt på utvalgte fysiologiske parametere og subjektiv evaluering av våthet på hud og foretrukken omgivelsestemperatur i påfølgende arbeidsperiode. Det hadde vært interessant å prøvd ut dette enkle og billige tiltaket i felt, og som kan inngå i HMS-arbeidet til smelteverkene sammen med metoder for tørking av bekledningen.

For å simulere arbeidsbelastning, ble gange på tredemølle benyttet i vår studie. Dette er en enkel metode for kontrollert arbeidsbelastning, men gjenspeiler ikke i like stor grad de arbeidsoperasjoner som utføres i tappeområdene i smelteverk. Som observert fra feltstudien, bestod arbeidsoperasjonene av oppgaver som krevde arbeid med både over- og underkropp. En testprotokoll med en arbeidsbelastning som simulerer en mer virkelighetsnær arbeidssituasjon ville derfor ha vært interessant å teste ut. Som nevnt i diskusjonen, ville en mer reell belastning kunne oppleves ved bruk av vernesko fremfor joggesko.

## 6 REFERANSER

- Amor, A. F., Vogel, J. A. and Worsley, D. E. (1973) The energy cost of wearing multilayer clothing, *Army Personnel Research Establishment, Ministry of Defence*. (Farnborough, Hants, UK). Report No. 18/73.
- Asmussen, E. og Hohwü-Christensen, E. (1985) *Idrætsteori: fysiologi: kinesiologi*. København: Akademisk forlag, s. 313.
- Barker, R. L. og Yener, M. (1981) Evaluating the resistance of some protective fabrics to molten iron, *Textile Research Journal*, 51(8), s. 533-541.
- Barr, D., Gregson, W., Sutton, L. og Reilly, T. (2009) A practical strategy for reducing the physiological strain associated with firefighting activity in the heat, *Ergonomics*, 52(4), s. 413-420. doi: 10.1080/00140130802707675
- Basset, D. R., Jr. og Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance, *Medicine and Science in Sports Exercise*, 32(1), s. 70-84
- Bergh, U. og Ekblom, B. (1979) Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures, *Journal of Applied Physiology*, 46(5), s. 885-889.
- Bishop P. A., Gu, D. L. og Clapp, A. (2000) Climate under impermeable protective clothing, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, s. 233-238
- Bligh, J. (1973) *Temperature Regulation in Mammals and Other Vertebrates*. New York: American Elsevier Publishing Company.
- Borg, D. N., Stewart, I. B. og Castello, J. T. (2015) Can perceptual indices estimate physiological strain across a range of environments and metabolic workloads when wearing explosive ordnance disposal and chemical protective clothing?, *Physiology & Behaviour*, 147(1), s. 71-77.

- Brazaitis, M., Kamandulis, S., Skurvydas, A. og Daniusevičiūtė, L. (2010) The effect of two kinds of T-shirts on physiological and psychological thermal responses during exercise and recovery, *Applied Ergonomics*, 42(1), s. 46-51. doi: 10.1016/j.apergo.2010.04.001
- Brown, E. N., Choe, Y., Luithardt, H. og Czeisler, C.A. (2000) A statistical model of the human core-temperature circadian rhythm, *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 279(3), s. 669-683.
- Campbell, S. S. og Broughton, R. J. (1994) Rapid decline in body temperature before sleep: fluffing the physiological pillow?, *Chronobiology International*, 11(2), s. 126-131.
- Carter, J. B (1999) Effectiveness of rest pauses and cooling in alleviation of heat stress during simulated fire-fighting activity, *Ergonomics*, 42(2), s. 299-313. doi: 10.1080/001401399185667
- Cheung, S., McLellan, T. og Tanglia, S. (2000) The Thermophysiology of uncompensable Heat Stress, *Sports Medicine*, 29(5), s. 329-359.
- Cheuvront, S. N., Kenfick, R. W., Montain S. J. og Sawka, M. N. (2010) Mechanisms of aerobic performance with heat stress and dehydration, *Journal of Applied Physiology*, 109, s. 1989-1995. doi: 10.1152/jappphysiol.00367.2010
- Chinevere, T. D., Cadarette, B.S., Goodman, D. A., Ely, B. R., Cheuvront, A. N. og Sawka, M. N. (2008) Efficacy of body ventilation system for reducing strain in warm and hot climates, *European Journal of Applied Physiology*, 103(1), s. 307-314. doi: 10.1007/s00421-008-0707-9
- Claremont, A., Nagle, F., Reddan, W. og Brooks, G. (1975) Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0 degrees and 35 degrees C.), *Medicine and Science in Sports and Science*, 7(2), s. 150-154.

- Cotter, J. D., Patterson, M. J. og Taylor, N. A. (1995) The topography of eccrine sweating in humans during exercise, *European Journal of Applied Physiology and Occupation Physiology*, 71(6), s. 549-554.
- Crown, E. M. og Dale, J. D. (2005) Protection for workers in the oil and gas industries, i Scott, R. (Red.) *Textiles for protection*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, s. 699-713.
- Dorman, L. E. og Havenith, G. (2009) The effects of protective clothing on energy consumption during different activities, *European Journal of Applied Physiology*, 105, 463-470. doi: 10.1007/s00421-008-0924-2
- Duncan, H. W., Gardner, G. W. og Bernard, J. R. (1979) Physiological Responses of Men Working in Fire Fighting Equipment in the Heat, *Ergonomics*, 22(5), s. 521-527.
- Fan, J., og Tsang, H. W. (2008) Effect of clothing thermal properties on the thermal comfort sensation during active sports, *Textile Research Journal*, 78(2), s. 111-118.
- Gagge, A. P., Burton, A. C. og Bazett, H. C. (1941) A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment, *Science*, 94, s. 428-430.
- Galloway, S. D. R. og Maughan, R. J. (1997) Effects of ambient temperature on the capacity to performed prolonged cycle exercise in man, *Medicine and Science in Sports and Science*, 29(9), s. 1240-1249
- Gavin, T. (2003) Clothing and thermoregulation during exercise, *Sports Medicine*, 33(13), s. 941-947. doi: 10.2165/00007256-200333130-00001
- Geving, I.M.H., Storholmen, T.C.B., Færevik, H. (2009) *Improved work clothing and personal protective equipment for use in tapping area and when handling molten metal*. (SINTEF-rapport F13806), Trondheim: SINTEF.



- Girden, E. R. (1992) *ANOVA: Repeated measures*. Sage university paper series on quantitative applications in the social sciences, series no. 07-084. Newbury Park, California: Sage.
- Gonzalés-Alonso, J., Crandall, C. G. og Johnson, J. M. (2008) The cardiovascular challenge of exercising in the heat, *The Journal of Physiology*, 586(1), s. 45-53. doi: 10.1113/jphysiol.2007.141258
- Gonzalés-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Below, P. R. og Coyle, E. F. (1985) Dehydration markedly impaires cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise, *Journal of Applied Physiology*, 82(4), s. 1229-1236.
- Gonzalés-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T. og Nielsen, B. (1999) Influence of body temperatur eon the development of fatigue during prolonged exercise in the heat, *Journal of Applied Physiology*, 86(3), s. 1032-1039.
- Gunga, H. C., Sandsund, M., Reinertsen, R. E., Sattler, F. og Koch, J. (2008) A noninvasive device to continously determine heat strain in humans, *Journal of Thermal Biology*, 33(1), s. 297-307. doi: 10.1016/j.therbio.2008.03.004
- Gwosdow, A. R., Stevens, J. C., Berglund, L. G. og Solwijk, J. A. J. (1986) Skin friction and fabric sensations in neutral and warm environments, *Textile Research Journal*, 56(9), s. 574-580.
- Havenith, G. og Heus, R. (2004) A test battery related to ergonomics of protective clothing, *Applied Ergonomics*, 35(1), s. 3-20. doi: 10.1016/j.apergo.2003.11.001
- Havenith, G., Fogarty, A., Bartlett, R. og Smith, C. (2008) Male and female upper body sweat distribution during running measured with technical absorbents, *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), s. 245-255. doi: 10.1007/s00421-007-0636-z
- Holmér, I. (1985) Heat exchange and thermal insulation compared in woollen and nylon garments during wear trials, *Textile Research Journal*, 55, 511-518.

- Holmér, I. (2006) Protective clothing in hot environments, *Industrial Health*, 44, s. 404-413.
- Holmér, I., Kuklane, K. og Gao, C. (2006) Test of firefighter's turnout gear in hot and humid air exposure, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 12, s. 297-305.
- House, J. R. (1998) Extremity cooling as a method for reducing heat strain, *Defence Science Journal*, 3, s. 108-114.
- House, J. R., Holmes, C. og Allsopp, A. J. (1997) Prevention of heat strain by immersing the hands and forearms in water, *Journal of the Royal Naval Medical Service*, 89(1), s. 19-26.
- ISO 15831 (2004) Clothing – Physiological effects – Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin, Geneve, Sveits: International Organisation for Standardisation Organisation.
- ISO 7730 (2005) Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneve, Sveits: International Organisation for Standardisation Organisation.
- ISO 9886 (2004) Ergonomics – Evaluation of thermal strain by physiological measurements, Geneve, Sveits: International Organisation for Standardisation Organisation.
- Jessen, C. (2001) *Temperature regulation in Humans and other Mammals*. Berlin: Springer.
- Jones, B. H., Toner, M. M. Daniels, W. L. og Knapik, J. J. (1984) The energy cost and heart-rate response of trained and untrained subjects walking and running in shoes and boots, *Ergonomics*, 27(8), s. 895-902.
- Kenefick, R., Chevront, S. og Sawka, M. (2007) Thermoregulatory Function During the Marathon, *Sports Medicine*, 37(4), s. 312-315. doi: 10.2165/00007256-200737040-00010

- Kenney, W. L., Mikita, D. J., Havenith, G. et al. (1993) Simultaneous derivation of clothing specific heat exchange coefficients, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, s. 283-289.
- Kenzo, S. og Dobson, R. L. (1970) Regional and individual variations in the function of the human eccrine gland, *Journal of Investigative Dermatology*, 54(6), s. 443-449.
- Kruk, B., Pekkarinen, H., Manninen, K. og Hänninen, O. (1991) Comparison in men of physiological responses to exercise of increasing intensity at low and moderate ambient temperatures, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62, s. 353-357.
- Kräuchi, K., Cajochen, C., Werth, E. og Wirz-Justice, A. (2000) Functional link between distal vasodilation and sleep-onset latency?, *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 278(3), R741-748.
- Laing, R. M., Sims, S. T., Wilson, C. A., Niven, B. E. og Cruickers, N. M. (2008) Differences in wearer response to garments for outdoor activity, *Ergonomics*, 51(4), s. 482-510. doi: 10.1080/00140130701636520
- Larsen, B., Snow, R. og Aisbett, B. (2015) Effect of heat on firefighters' work performance and physiology, *Journal of Thermal Biology*, 53, s. 1-8.
- Livingstone, S. D., Nolan, R. W. og Cattroll, S. W. (1989) Heat loss caused by immersing the hands in water, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 60(12), s. 1166-1171.
- McArdle, W.D., Magel, J. R., Lesmes, G. R. og Pechar, G. S. (1976) Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33 degrees C, *Journal of Applied Physiology*, 40(1), s. 85-90.
- Mekjavic, I.B. og Eiken, O. (2006) Contribution of thermal and nonthermal factors to the regulation of body temperature in humans, *Journal of Applied Physiology*, 100(6), s. 2065-2072. doi: 10.1152/jappphysiol.01118.2005

- Moore, T.O., Bernauer, E. M., Seto, G., Park, V. S., Hong, S. K. og Hyashi, E. M. (1970) Effect of immersion at different water temperatures on graded exercise performance in man, 41(12), *Aerospace Medicine*, s. 1404-1408.
- Mäkinen, H., Nieminen, K., Maki, S. og Siiskonen, S. (2008) Development of a test method against hot alkaline chemical splashes, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(1), s. 19-28. doi: 10.1080/10803548.2008.11076745
- Mäkinen, H., Nieminen, K., Mäki, S. og Siiskonen, S. (2008) Development of a Test Method Against Hot Alkaline Chemical Splashes, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(1), s. 19-28. doi: 10.1080/10803548.2008.11076745
- Nielsen, B. (1996) Olympics in Atlanta: a fight against physics, *Medical Science and Sports and Exercise*, 28(6), s. 665-668.
- Nielsen, B. og Nielsen, M. (1962) Body temperature during work at different environmental temperatures, *Acta physiologica scandinavica*, 56, s. 120-129
- Oksa, J., Kaikkonen, H., Sorvisto, P., Vaapo, M., Martikkala, V. og Rintamaki, H. (2004) Changes in submaximal cardiorespiratory capacity and submaximal strain while exercising in the cold, *Journal of Thermal Biology*, 29, s. 815-818.
- Otani, H., Kaya, M., Tamaki, A., Watson, P., Maughan, R. (2016) Effects of solar radiation on endurance exercise capacity in hot environments, *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), s. 769-779. doi: 10.1007/s00421-016-3335-9
- Parsons, K. (2014) *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human health, Comfort, and Performance*. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Petruzzello, S., Gapin, J. I., Snook, E. og Smith, D. L. (2009) Perceptual and physiological heat strain: Examination in firefighters in laboratory- and field-based studies, *Ergonomics*, 52(6), s. 747-754. doi: 10.1080/00140130802550216

- Ranalli, G. F., Demartini, J. K., Casa, D. J., McDermott, B. P., Armstrong, L. E. og Maresh, C. M. (2010) Effect of body cooling on subsequent aerobic and anaerobic exercise performance: a systematic review, *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), s. 3488-3496. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fb3e15
- Reinertsen, R. E., Færevik, H., Holbø, K., Nesbakken, R., Reitan, J., Røyset, A. og Soung Le Thi, M. (2008) Optimizing the performance of phase change materials in personal protective cooling systems, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(1), s. 43-53. doi: 10.1080/10803548.2008.11076746
- Richardson, J. E. og Carpa, M. F. (2001) Physiological responses of firefighters wearing level 3 chemical protective suits while working in controlled hot environments, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 43(12), s. 1064-1072.
- Roberts, B. C., Waller, T. M. og Caime, M. P. (2007) Thermoregulatory response to base layer garments during treadmill exercise, *International Journal of Sports Science and Engineering*, 1, s. 29-38.
- Rossi, R. (2003) Fire fighting and its influence on the body, *Ergonomics*, 46(10), s. 1017-1033. doi: 10.1080/0014013031000121968
- Rossi, R. (2004) Clothing for protection against heat and flames, i Wang, F. og Gao, C. (red.), *Protective Clothing: Managing Thermal Stress*, Cambridge: Woodhead Publishing, s. 70-81
- Saltin, B., Gagge, A. og Stolwijk, J. (1968) Muscle temperature during submaximal exercise in man, *Journal of Applied Physiology*, 25(6), s. 679-688.
- Sandsund, M., Winnberg, S., Finseth, H. W., Fosslo, G. O. og Reinertsen, R. E. (2005) Evaluation of test protocols for smoke-divers working in the heat, *Environmental Ergonomics*, 3, s. 45-47.

- Selkirk, G. A., McLellan, T. M. og Wong, J. (2004) Active Versus Passive Cooling During Work in Warm Environments While Wearing Firefighting Protective Clothing, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(8), s. 521-531.  
doi:10.1080/154596200490475216
- Shibolet, S., Lancaster, M. C. og Danon, Y. (1976) Heat stroke: a review, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 47(3), s. 280-301
- Smith, C. J. og Havenith, G. (2011) Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced hyperthermia, *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), s. 1391-1404. doi: 10.1007/s00421-010-1744-8
- Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Kramer J. M. og Misner, J. E. (1997) The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill, *Ergonomics*, 40(4), s. 500-510. doi: 10.1080/001401397188125
- Smolander, J., Kuklane, K., Gavhed, D., Nilsson, H. og Holmér, I. (2004) Effectiveness of a Light-Weight Ice-Vest for Body Cooling While Wearing Fire Fighter's Protective Clothing in the Heat, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(2), s. 111-117. doi: 10.1080/10803548.2004.11076599
- Snook, S. H. og Ciriello, V. M. (1974) The effects of heat stress on manual handling tasks, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 35(11), s. 681-685.
- Sparks, S., Cable, N., Doran, D. og MacLaren, D. (2005) The influence of environmental temperatur eon duathlon performance, *Ergonomics*, 48, s. 1558-1567
- Stapleton, J. M., Hardcastle, S. G., og Kenny, P. (2011) The influence of activewear worn under standard work coveralls on whole-body heat loss, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8(11), s. 652-661. doi: 10.1080/15459624.2011.616814
- Tatterson, A. J., Hahn, A. G., Martin, D. T. og Febbraio, M. A. (2000) Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists, *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(2), s. 186-193. doi: 10.1016/S1440-2440(00)80080-8

- Taylor, N., Lewis, M., Notley, S. Peoples, G. (2012) A fractionation of the physiological burden of the personal protective equipment worn by firefighters, *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), s. 2913-2921. doi: 10.1007/s00421-011-2267-7
- Teichner, W. H. (1958) Assessment of Mean Body Surface Temperature, *Journal of Applied Physiology*, 12(2), s. 169-176.
- von Heimburg, E., Medbø, J. I., Sandsund, M. og Reinertsen, R. E. (2013) Performance on a Work-Simulating Firefighter Test Versus Approved Test for firefighter and Applicants, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), s. 227-243.
- Walsh, R. M., Noaks, T. D., Hawley, J. A. og Dennis, S. C. (1994) Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration, *International Journal of Sports Medicine*, 15(7), s. 392-398.
- Watkins, S. M (1995) *Clothing: the portable environment*. 2. utg. Ames, Iowa: Iowa State University Press, s. 3-57.
- Webb, P. (1995) The Physiology of heat regulation, *American Journal of Physiology*, 268: R838-R850.
- Webster, J., Holland, E. J., Sleivert, G., Laing, R.M. og Niven, B.E. (2005) A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat, *Ergonomics*, 48(7), s. 821-837. doi: 10.1080/00140130500122276
- Werner, J. (1988) Functional mechanisms of temperature regulation, adaption and fever: Complementary system theoretical and experimental evidence, *Pharmacology and Therapeutics*, 37(1), s. 1-23. doi: 10.1016/0163-7258(88)90016-2
- Wyss, C. R., Brengelmann, G. L., Johnson, J. M., Rowell, L. B. og Silverstein, D. (1975) Altered control of skin blood flow at high skin and core temperatures, *Journal of Applied Physiology*, 38(5), s. 839-845.

Xu, X. og Gonzales, J. (2011) Determination of the cooling capacity for body ventilation system, *European Journal of Applied Physiology*, 111(1). s. 3155-3160. doi: 10.1007/s0042-001-1941-0

Åstrand, P. -O., Rodahl, K., Dahl, H .A. og Strømme, S .B. (2003) *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. 4. utg. Champaign, USA: Human Kinetics.



## 7 VEDLEGG

### Vedlegg 1A – Informasjonsskriv og samtykkeerklæring for feltstudien, totalt 3 sider

#### Forespørsel om å delta i feltmålinger

##### Fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere

*Kartlegging av termisk stress ved arbeid på smelteverk*

##### Bakgrunn og hensikt

Smelteverksindustrien er en arbeidsplass der operatørene i enkelte arbeidsoperasjoner (spesielt i tappeområdet) utsettes for stort varmessress og eksponering for metallsprut. Arbeidet karakteriseres av fysisk krevende oppgaver som krever raske beslutninger og manuell presisjon. Det jobbes mye med tanke på skjerming av arbeiderne under arbeidet, men det vil alltid være strålingsvarme og en viss risiko for f.eks. metallsprut. Hovedmålet med prosjektet er å utvikle ny vernebekledning som bidrar til økt beskyttelse og komfort under arbeid i tappeområdet i smelteverksindustrien.

##### Hva innebærer feltmålingene?

Målet med feltmålingene er å kartlegge graden av termisk stress under arbeid i tappeområdet på utvalgte smelteverk i vinter- og sommersesongen. Totalt 10-12 smelteverksarbeidere i tappeområdet blir forespurt om deltakelse i studien som inkluderer målinger av hudtemperaturer, kjernetemperatur og hjerterefrekvens under en vanlig arbeidsdag (en gang vinter og en gang sommer 2016). I tillegg registreres vekt, høyde, fettprosent og væsketap. Deltakerne vil bli spurt om termisk komfort i løpet av arbeidsdagen. I tillegg vil det bli målt lufttemperatur og varmestråling på forskjellige arbeidsområder på smelteverket.

##### Hva skjer med informasjonen om deg?

Informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med feltmålingene. Alle opplysningene vil bli behandlet konfidensielt, dvs. uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennerende opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger gjennom en navneliste. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg.

Av kontrollhensyn blir grunnlagsdata oppbevart forsvarlig nedlåst fram til 31.12.2021. Deretter vil data bli slettet. Det er Mariann Sandsund som er ansvarlig for datamaterialet i denne perioden. Instanser som kan tenkes å kontrollere grunnlagsmaterialet er for eksempel forskningsansvarlige, Uredelighetsutvalget for forskning og Helsetilsynet. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres. Personell som jobber i prosjektet har taushetsplikt i henhold til Helseforskningslovens §7.

##### Frivillig deltakelse

Det er frivillig å delta i studien. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke. Dersom du ønsker å delta, undertegner du en samtykkeerklæring. Om du nå sier ja til å delta, kan du senere trekke tilbake ditt samtykke. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål til studien, kan du kontakte prosjektleder.

##### Personvern

Kun indirekte personidentifiserbare opplysninger registreres om deg. Dette omfatter opplysninger om kjønn, høyde, alder, vekt, fettprosent. Fysiologiske data som registreres er kjerne- og hudtemperaturer, hjerterefrekvens og svetterrespons. I tillegg registreres subjektive vurderinger av termisk fornemmelse og komfort.

**Rett til innsyn og sletting av opplysninger om deg**

Hvis du sier ja til å delta i studien har du rett til å få innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg. Du har videre rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene vi har registrert.

Dersom du trekker deg fra studien, kan du kreve å få slettet innsamlede opplysninger, med mindre opplysningene allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner.

**Godkjenninger**

Prosjektet er meldt til Personvernombudet for forskning, Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS.

**Prosjektleder**

Forskningsleder Mariann Sandsund, tlf: 98245138, e-post: [Mariann.Sandsund@sintef.no](mailto:Mariann.Sandsund@sintef.no)

**Prosjektmedarbeidere**

Forsker Øystein Wiggen, tlf: 93041251, e-post: [Oystein.Wiggen@sintef.no](mailto:Oystein.Wiggen@sintef.no)

MSc-student Nora Sunde

Med vennlig hilsen

for SINTEF Teknologi og Samfunn

Avd. Helse

Øystein Wiggen, Forsker

## Samtykke til deltakelse i studien

Jeg har mottatt informasjon om studien, og er villig til å delta

**(Signatur, dato)**

### Hva innebærer deltakelsen?

Målet med deltakelsen er å kartlegge graden av termisk stress under arbeid i oppvarmede og utvalgte vevsverk i vind- og sommersesongen. Totalt 10-12 arbeidstakere vil bli inkludert i studien som inkluderer målinger av hudtemperatur, hjertefrekvens og hjerterekvens under en vanlig arbeidsdag (en gang vinter og en gang sommer 2016). I tillegg registreres vekt, høyde, kroppstemperatur og sykkelstyring. Deltakerne vil bli spurt om termisk komfort i løpet av arbeidsdagen. I tillegg vil det bli målt lufttemperatur og vevstemperatur på forskjellige arbeidsområder på smelteverket.

### Hva skjer med informasjonen om deg?

Informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i henholdsvis medlemsbrev og informasjonen. Alle opplysninger vil bli behandlet konfidensielt, dvs. uten navn og arbeidsnummer eller andre direkte identifikasjonsopplysninger. En kode knytter deg til disse opplysningene gjennom en nøkkelkode. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til informasjon og som kan finne tilbake til deg.

Av sikkerhetsmessige grunner blir grunnleggende opplysninger nedlagt fram til 31.12.2021. Deretter vil data bli slettet. Det er Marvæn Sandstad som er ansvarlig for datamaterialet i denne perioden. Instanser som kan tenkes å kontrollere grunnleggende materialet er for eksempel forskningsansvarlige, Læremiddelutvalget for forskning og Helseetisk råd. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres. Personell som jobber i prosjektet har taushetsplikt i henhold til Helseforskningslovens §7.

### Frivillig deltakelse

Det er frivillig å delta i studien. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke. Dersom du ønsker å delta, undertegner du et samtykkeerklæring. Om du nå sier ja til å delta, kan du senere trekke tilbake ditt samtykke. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål til studien, kan du kontakte prosjektleder.

### Personvern

Kun indvikte personidentifiserbare opplysninger registreres om deg. Dette omfatter opplysninger om kjønn, høyde, alder, vekt, kroppstemperatur. Fysiologiske data som registreres er hjerte- og hudtemperaturer, hjerterekvens og svetteproduksjon. I tillegg registreres subjektive vurderinger av termisk komfort og helse.

## Vedlegg 1B – Informasjonsskriv og samtykkeerklæring for laboratoriestudien, totalt 3 sider.

Fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere, 04.08.2016

### FORESPØRSEL OM DELTAKELSE I FORSKNINGSPROSJEKT

#### Utvikling av fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt der målet er å evaluere effekten av varmeeksponering på fysiologiske responser og termisk komfort ved bruk av:

- 1) Nye prototyper av vernebekledning for smelteverksarbeidere versus vernebekledning som brukes i dag.
- 2) Ulike metoder for kjøling (vifte, avkledning).
- 3) Totalt 10-12 menn i aldersgruppen 20-30 år vil bli rekruttert til prosjektet. Prosjektet gjennomføres av SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse i Trondheim

#### HVA INNEBÆRER PROSJEKTET?

Smelteverksindustrien er en arbeidsplass der operatørene i enkelte arbeidsoperasjoner (spesielt i tappeområdet) utsettes for stort varmestress og eksponering for metallsprut. Hovedmålet med prosjektet er å utvikle ny vernebekledning som bidrar til økt beskyttelse og komfort under arbeid i tappeområdet i smelteverksindustrien.

Standardiserte tester gjennomføres i Arbeidsfysiologisk laboratorium ved SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse. Testene består av vekslende arbeids- og hvileperioder med bruk av nye prototyper og dagens bekledning (delmål 1) og med ulike former for kjøling i pausene (vifte, avkledning) (delmål 2). Simulering av reelle omgivelsesforhold for smelteverksarbeidere vil bli gjort ved regulering av temperatur, luftfuktighet og eksponering til strålingsvarme. Deltakerne gjennomfører arbeidsbevegelser lignende smelteverksarbeidere som arbeider i tappeområdet foran en varmestrålingskilde i klimakammeret over kortere perioder (ca. 120 sekund) kombinert med pauser der også test av ulike metoder for kjøling vil bli evaluert. I prosjektet vil vi innhente og registrere følgende opplysninger om deg: Høyde, alder, vekt og fettprosent. Fysiologiske data som registreres under testen er hudtemperaturer, kjernetemperatur, hjerterefrekvens, oksygenopptak, svetteproduksjon og relativ fuktighet i bekledningen. I tillegg registreres subjektiv evaluering av termisk komfort og temperaturfølelse.

#### MULIGE FORDELER OG ULEMPER

Forbedret vernebekledning og HMS-rutiner i forhold til avkjøling skal bidra til økt yteevne, sikkerhet og komfort under arbeidet for smelteverksarbeidere. Resultatene vil derfor være av verdi under arbeidet med å utvikle vernebekledningen og utarbeide tiltak for å forebygge skader. Kunnskapen vil bidra til en tryggere og sikrere arbeidsplass for smelteverksarbeidere.

Vi ser ingen spesiell risiko forbundet med deltakelse i studien da vi har klart definerte avbruddskriterier for deltakerne. De fysiologiske måle metodene er benyttet i tidligere studier. Bruk av rektalprobe for å måle kjernetemperaturen kan av enkelte føles som ubehagelig. Deltakerne må regne med å sette av 2-3 timer til hvert forsøk.

#### FRIVILLIG DELTAKELSE OG MULIGHET FOR Å TREKKE SITT SAMTYKKE

Det er frivillig å delta i prosjektet. Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke. Dersom du trekker deg fra prosjektet vil vi slette all personidentifiserende informasjon. Du kan i tillegg kreve å få slettet innsamlede prøver og opplysninger, med mindre disse allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål til prosjektet, kan du kontakte prosjektleder Mariann Sandsund, tlf. 982 45 138, [mariann.sandsund@sintef.no](mailto:mariann.sandsund@sintef.no)

#### HVA SKJER MED INFORMASJONEN OM DEG?

Informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Du har rett til innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg og rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene som er registrert.

Alle opplysningene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjenner opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger gjennom en navneliste. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres.

Prosjektleder har ansvar for den daglige driften av forskningsprosjektet og at opplysninger om deg blir behandlet på en sikker måte. Prosjektet skal være avsluttet til 31.12.2018, og datamaterialet vil da slettes/anonymiseres.

#### ØKONOMI

Deltakerne i laborietestene får kr 150,- per time i kompensasjon for eventuelle utgifter (parkering etc) og tidsbruk

#### KONTAKTPERSONER I PROSJEKTET

Forskningsleder Mariann Sandsund, tlf: 982 45 138, e-post: [Mariann.Sandsund@sintef.no](mailto:Mariann.Sandsund@sintef.no)  
Forsker Øystein Wiggen, tlf: 930 41 251, e-post: [Oystein.Wiggen@sintef.no](mailto:Oystein.Wiggen@sintef.no)  
MSc-student Nora Sunde, tlf: 993 22 977, e-post: [norasunde@gmail.com](mailto:norasunde@gmail.com)

#### GODKJENNING

Prosjektet er vurdert av Personvernombudet for forskning NSD - Norsk senter for forskningsdata.

SAMTYKKE TIL DELTAKELSE I PROSJEKTET

Utvikling av fremtidens vernebekledning for smelteverksarbeidere

JEG ER VILLIG TIL Å DELTA I PROSJEKTET

vernebekledning på fysiologiske responser og komfort knyttet ved bruk av:

- 1) Nye prototyper av vernebekledning for smelteverksarbeidere versus vernebekledning som brukes i dag.
- 2) Ulike metoder for kjøling (vifte, avledning).

Sted og dato

Deltakers signatur

Deltakelse 10-12 menn i aldersgruppen 20-30 år og som har deltatt på prosjektet. Prosjektet gjennomføres av SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse i Trondheim.

PROSJEKTET

Deltakers navn med trykte bokstaver


Smelteverkindustrien er en arbeidsplass der arbeidstakerne (spesielt i støpselområdet) utsettes for stort varmesjokk og eksponering for metaller. Målsystemet med prosjektet er å utvikle ny vernebekledning som bidrar til økt beskyttelse og komfort under arbeid i støpselområdet i smelteverkindustrien.

Standardiserte tester gjennomføres i arbeidsfysiologisk laboratorien ved SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Helse. Testene består av arbeidsfysiologiske og helseopptak med bruk av nye prototyper og dagens beklædning (delsett 1) og med ulike former for kjøling i pannen (vifte, avledning) (delsett 2). Simulering av realistiske arbeidsforhold for smelteverksarbeidere vil bli gjort ved registrering av temperatur, luftfuktighet og eksponering for strålingsvarme. Deltakernes generelle arbeidsregimer lignende smelteverksarbeidere som arbeider i støpselområdet foran en varmstrålingskilde i smeltekammeret over en rulle med et (ca. 120 sekund) spinnert med løst for også test av ulike metoder for kjøling vil bli evaluert. I prosjektet vil vi registrere og registrere følgende opplysninger om deg: Høytid, alder, vekt og fettprosent. Fysiologiske data som registreres under testen er hudtemperatur, kjerne-temperatur, hjertefrekvens, oksygenopptak, vannopptak og relativ fuktighet i beklædningen. I tillegg registreres subjektiv evaluering av vindstøt og temperaturopplevelse.

PROSJEKTET

Forbedret vernebekledning og HAVS-utstyr i forhold til kjøling skal bidra til økt trykkløst, effektivitet og komfort under arbeid for smelteverksarbeidere. Resultatene vil derfor være av verdi under arbeid med å utvikle vernebekledningen og utarbeide uttak for å trene seg på skader. Kunnskapen vil bidra til å redusere og sikre arbeidstid for smelteverksarbeidere.

## Vedlegg 2 – Spørsmål for subjektiv evaluering av termisk fornemmelse og komfort med voteringskala

 <b>SINTEF</b>	<b>Dok. nr</b> <i>Internal Reg. No.</i> KS 78-05-02	<b>Gradering</b> <i>Classification</i> Intern	<b>Utgave nr.</b> <i>Revision no.</i> 1.0	<b>Dato</b> <i>Date</i> 2007-06-26
<b>Kvalitetssikring</b> <i>Quality Assurance</i>	<b>Utarb. Av</b> <i>Prep. by</i> Ingunn H Geving	<b>Godkjent av</b> <i>Approved by</i> Hilde Færevik	<b>Side</b> <i>Page</i> 1	<b>Av</b> <i>Of</i> 1

### Subjektiv evalueringsskjema

#### Hvordan føler du termisk din (e) :

1) Kropp? 2) Føtter ? 3) Hender?  
4) Hode?

- 5 ekstremt kald
- 4 svært kald
- 3 kald
- 2 kjølig
- 1 litt kjølig
- 0 nøytral
- 1 litt varm
- 2 varm
- 3 het
- 4 svært het
- 5 ekstremt het

#### Du?

- 1 skjelver kraftig av kulde
- 2 skjelver moderat av kulde
- 3 skjelver litt av kulde
- 4 hverken svetter eller skjelver
- 5 svetter litt
- 6 svetter moderat
- 7 svetter kraftig

#### Hvordan føles din hud?

- 1 mer tørr enn normalt
- 2 normalt tørr
- 3 bryst og rygg lett våt
- 4 bryst og rygg er våt
- 5 kroppen er våt
- 6 kroppen er våt og tøyet kleber til huden

#### Hvordan vil du foretrekke den omgivende lufttemperatur?

- 1 mye kjøligere
- 2 litt kjøligere
- 3 nøytral
- 4 litt varmere
- 5 mye varmere

#### Hvordan føler du deg termisk tilpass?

- 1 komfortabel
- 2 litt ukomfortabel
- 3 ukomfortabel
- 4 svært ukomfortabel

**Vedlegg 3** – Datapunkter for sammenligning ved toveis-ANOVA for  $T_{\text{hud}}$ ,  $T_{\text{bryst}}$ ,  $T_{\text{rygg}}$ , temperatur og relativ luftfuktighet mellom inner- og ytterbekledning

**Tabell 7.1.** Datapunkt 1-13 for sammenligning.

Datapunkt	Aktivitet
1	Siste to minutter av termisk stabilisering før påkledning av resterende vernebekledning (min. -4 til -5)
2	Første varmestrålingsperiode ved 25% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 1 (min. 8-10)
3	Andre varmestrålingsperiode ved 25% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 1 (min. 19-20)
4	Siste to minutter av første 5-minutters pause, (min. 24-25)
5	Første varmestrålingsperiode ved 40% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 2 (min. 34-35)
6	Andre varmestrålingsperiode ved 40% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 2 (min. 44-45)
7	Siste to minutter av Hvile 1 før påkledning av resterende vernebekledning (min. 56-57)
8	Første varmestrålingsperiode ved 25% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 3 (min. 69-70)
9	Andre varmestrålingsperiode ved 25% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 3 (min. 79-80)
10	Siste to minutter av første 5-minutters pause, (min. 84-85)
11	Første varmestrålingsperiode ved 40% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 4 (min. 94-95)
12	Andre varmestrålingsperiode ved 40% av $VO_{2 \text{ maks}}$ , arbeidsperiode 4 (min. 104-105)
13	Siste to minutter av Hvile 2 (min. 116-117)