SLUTTRAPPORT

Sammenhengen mellom mental arbeidsbelastning og prestasjon hos skogsmaskinførere, en pilotstudie.

Mål

Å belyse hvordan ulike arbeidsvilkår påvirker den mentale arbeidsbelastningen for skogsmaskinførere.

Bakgrunn

I norsk skogbruk finnes det ca. 250 bedrifter som jobber med maskinell tynning og hogst. Disse representerer en viktig del av den norske skog-baserte verdikjeden, og avvirker rundt 8-10 millioner m3 tømmer per år. Norske entreprenørbedrifter har som regel mellom to og fem ansatte maskinførere.

Skogsarbeidet er historisk kjent for å være et fysisk krevende yrke. Med økt mekanisering de siste fire tiår, har skogsarbeiderens hverdag blitt drastisk endret. Utviklingen har gått fra en ekstremt fysisk intensiv type arbeid [1] til en sterkt mekanisert og teknologisert type arbeid som krever høyere grad av kognitive prosesser [2].

Moderne skogsmaskiner har svært komplekse operative grensesnitt sammenliknet med andre industriproduksjonssystemer. Førerne jobber alene i en førerhytte der de styrer med mer enn 10 elektro-hydrauliske operasjoner på hver joystick, og rundt 3500 trykker per time for å opprettholde en akseptabel produksjonshastighet [3]. Operatørene må velge riktig behandling av trær med ulik verdi, kvalitet og dimensjon. Dette innebærer vurdering av ca. 2 trær i minuttet, over en 8-10 timers arbeidsdag. De må også ta hensyn til nye prismatriser og kvalitetskrav som oppdateres via GSM-nettet flere ganger daglig. I tillegg må operatøren stadig navigere maskinen gjennom til dels ekstremt terreng, ta hensyn til viktige biotoper, grenser og kulturminner, og unngå skade på jorda. Dette samtidig som det må holdes full bevissthet rundt sikkerhet.

Drift og vedlikehold av nye skogsmaskiner krever spesifikke ferdigheter og kontinuerlig konsentrasjon; begge begrepene har en sterk innflytelse på driftseffektivitet og sikkerhet. Resultatene fra tidligere forskning på forbedring av operatørens ytelse gjennom opplæring har resultert i en foreløpig forståelse for de kognitive vansker som forbindes med å operere ganske enkle joystick-lignende kontroller for en taubane [4]. Moderne skogsmaskiners multi-funksjonalitet setter imidlertid krav også til tilstrekkelige dataferdigheter og vedvarende situasjonsforståelse hos operatørene. Som forklart av Gellerstedt [3] så er operasjon av skogsmaskiner en svært kompleks aktivitet som krever gjennomføring av samtidige håndbevegelser for å utføre ofte overlappende funksjoner.

Begrepet “mental arbeidsbelastning” spenner vidt, har mange fasetter, og kan generelt defineres som; *operatørenes opplevde krav til oppmerksomhet for adekvat oppgaveløsing i en gitt, spesifikk, arbeidssituasjon.* I en avgrenset kontekst ser man da på forholdet mellom operatørenes motivasjonsbaserte kapasitet, og faktiske krav til den konkrete oppgaven som skal løses. [5] Det er en sammenheng mellom lave til moderate nivåer av mental arbeidsbelastning, og akseptable mål for operatørens ytelse. I denne sammenheng er høy mental arbeidsbelastning forbundet med økte krav til informasjonsbehandling som fører til lavere ytelse.[6]

Vurdering av mental arbeidsbelastning er dessuten viktig for å øke både effektiviteten og sikkerheten på arbeidsplassen. Regulering av oppgavenes intensitet er derfor viktig for at operatørene skal kunne arbeide vedvarende uten under- eller overbelastet. Balansert arbeidsbelastning bidrar til å sikre langsiktig og stabil produktivitet, økt driftssikkerhet, komfort og påfølgende helsegevinst.

Skogsmaskinføreres effektivitet er for øvrig korrelert med egen oppfattelse av trivsel, som er en funksjon av bl.a. arbeidsmengde (således helse) og sikkerhet [7, 8]. En fysisk og psykisk ubalansert arbeidsbelastning har sterk innvirkning, ikke bare på hogst-systemets produktivitet, men også på operatørenes sikkerhet. Risikonivået til flere av de oppgavene som utføres (reparasjon, vedlikehold osv.), er relativt høyt. Derfor må oppmerksomheten være skjerpet, siden alle former for distraksjon kan føre til alvorlige ulykker [9].

Gjennomføring

Feltarbeidet ble gjennomført i løper av sommer (16-21/06/2015) og vinter (30/11-04/12/2015), dette for å inkludere årstidsvariasjoner i analysen.

Data om subjektive og fysiologisk arbeidsbelastning ble samlet i samarbeid med maskinførerne som jobber i Glåmdal Skogservice.

Seks førere deltok i testen. Hver fører fikk påmontert med en liten EKG som har kontinuerlig logget og lagret data i 5 døgn (gjennomsnitt), for å måle puls og pulsvariabilitet (figur 1).

Figur 1: EKG plassering på førerne

På denne måten vurderte vi prestasjoner og stress. I tillegg til denne målingen fylte hver operatør ut et skjema for selvvurdering (NASA TLX) av egen arbeidsbelastning. Dette for å kunne sammenligne objektive og subjektive observasjoner. Skjemaet ble fylt ut hver arbeidsdag etter fem timer kontinuerlig arbeid.

Produksjonsdata ble også samlet daglig på samme dato i tillegg til arbeidsmiljøforhold. Disse produksjonsdataene ble sammenlignet med fysiologiske målinger (fysiologiske måling av mental arbeidsbelastning) og med spørreskjema NASA TLX test (subjektive måling av mental arbeidsbelastning). Herunder opplysninger om lysforhold og type oppgaver.

Dataene ble analysert med hensyn til sesongvariasjoner (i form av lys, temperatur og grunnforhold) og vi forventet ut fra dette å se en effekt på mental arbeidsbelastning hos operatørene. Førerhytten ble også lagt inn i dette grunnlaget.

Feltarbeid og subjektive arbeidsbelastning data:

Denne delen av prosjektet innebærer at førerne måtte fylle et skjema for vurdering av egen mentale arbeidsbelastning. Denne subjektive undersøkelsen viser forskjellen mellom hva vi kvantitativt kunne måle og hvordan førerne kvalitativt opplevde påvirkning av arbeidsbelastning.

En introduksjon til undersøkelsen og en forklaring av grunn og vurderingsskalaer ble tildelt til førerne, sammen med det daglige utfyllingsskjemaet (Vedlegg 1).

Begrepet arbeidsbelastning knyttes i dette tilfellet til arbeidsoppgaver i maskin, i tillegg til personlige egenskaper hos arbeidstakeren, slik som ferdigheter, motivasjon og følelser. Arbeidstid og hviletid er viktig for å utføre en god jobb og for å forebygge skader og ulykker.

Hvis man jobber og ikke minst kjører en maskin i en tilstand hvor man er for trøtt og hvor man ikke har fått tid til hvile, så vil risikoen for skader og ulykker øke. Økt arbeidsbelastning hos føreren kan ha sikkerhetsmessige konsekvenser.

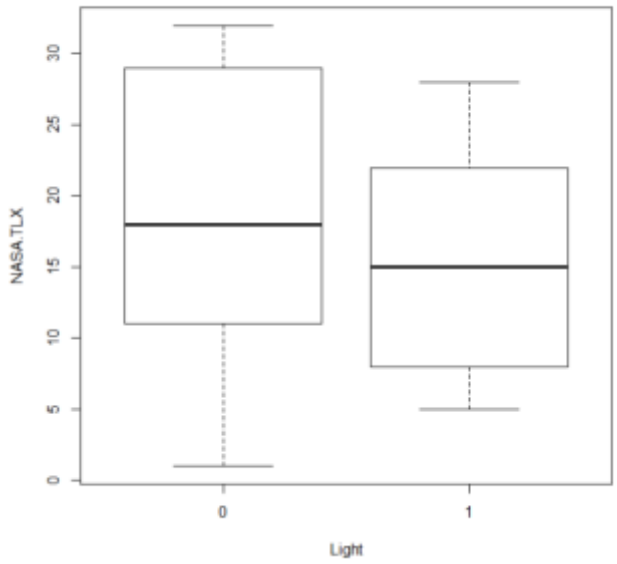
Med testen var det mulig å undersøke om hvorvidt en forsøksperson opplever økt eller redusert arbeidsbelastning. Førerne måtte gradere intensitet av seks forskjellige kondisjoner fra 1 til 10.

Definisjoner i testen:

Navn	**Ytterpunkter**	**Beskrivelse**
Mentale forespørsel	*Lav/Høy*	Hvor mye du tenker, bestemmer, beregner, husker undersøker, ser etc.?
Fysiske krav	*Lav/Høy*	Hvor mye fysisk aktivitet var nødvendig?
Tidsmessige krav	*Lav/Høy*	Hvor mye tidspress har du?
Ytelse/Prestasjon	*God/Dårlig*	Hvor fornøyd var du med dine oppgaver?
Anstrengelse	*Lav/Høy*	Hvor hardt du måtte jobbe (mentalt og fysisk)?
Frustrasjon	*Lav/Hoy*	Hvor usikker, motløs, stresset og irritert du er mot hvor sikker, glad, avslappet og selvtilfreds du er med oppgaven?

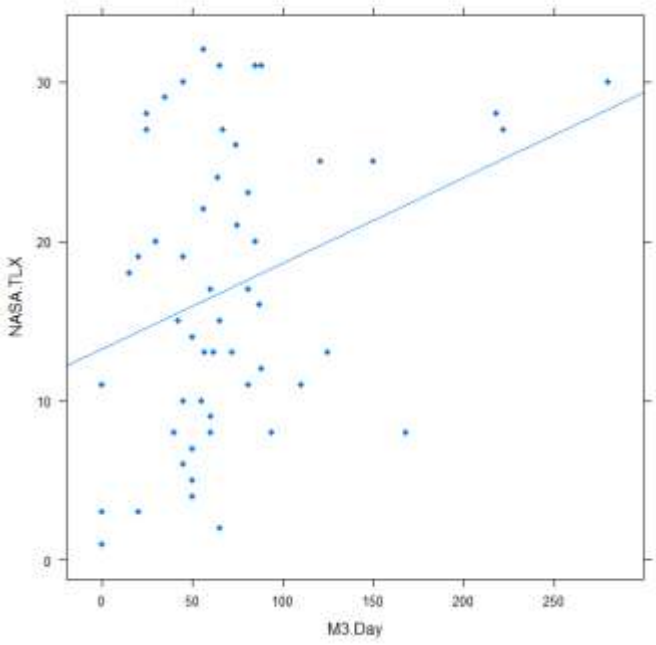
Vi brukte et gjennomsnitt av vurdering taler for å beregne krav av hver arbeidsdag.

Resultatene viser at førerne opplevde et generell høyere krav med lignende oppgave etterspørsel i vinter forhold – i.e. dårlig lys (figur 2).



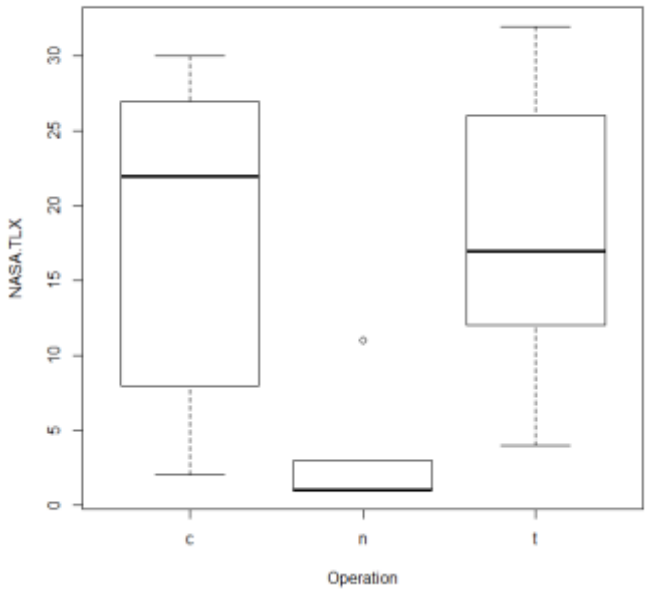
Figur 2:Nasa TLX poengene i mørk forhold (Light 0) og vanlig lys forhold (Light 1)

Med hensyn til relasjon mot produktivitet, viser resultatene et høyere krav med økt produktivitet (figur 3).



Figur 3: Sammenheng mellom Nasa tlx og daglig produktivitet.

Med hensyn til relasjon mot aktivitet: foryngelseshogst (c), tynning (t) eller andre (n) (i.e. flytning av maskin), resultatene viser at foryngelseshogst resulterer i et opplevd høyere krav (figur 4).



Figur 4: NASA tlx resultater per aktivitet, foryngelseshogst (c), tynning (t) eller andre i.e. flytting av maskin (n).

Feltarbeid og fysiologiske måling:

De fysiologiske målingene som er brukt for å vurdere mental belasting er puls (HR) og variabilitet (RMSSD og PNN50). Puls variabilitet ble beregnet av puls.

Om puls: Lav hvilepuls er sunt. Høy hvilepuls er i de fleste tilfeller usunt. Gjennomsnittlig hvilepuls i befolkningen er i underkant av 50 hjerteslag i minuttet. Hvilepulsen vil typisk øke ved kortvarig eller lang-varig stress, overtrening, for lavt fysisk aktivitetsnivå, eller andre vaner som ikke er forenlig med god helse. Hvilepulsen synker med sunn livsførsel og positive tiltak for å skape forbedring. Når hvilepulsen ligger betydelig over gjennomsnittet over lengre tid, uten at du vet årsaken, kan det være verdt å undersøke om det er tiltak som kan gjøres for å skape bedre hvile. Mange tror at hvilepulsen øker mye med alderen. Våre undersøkelser tyder imidlertid på at økt hvilepuls er sterkere knyttet til livsførsel enn til alder.

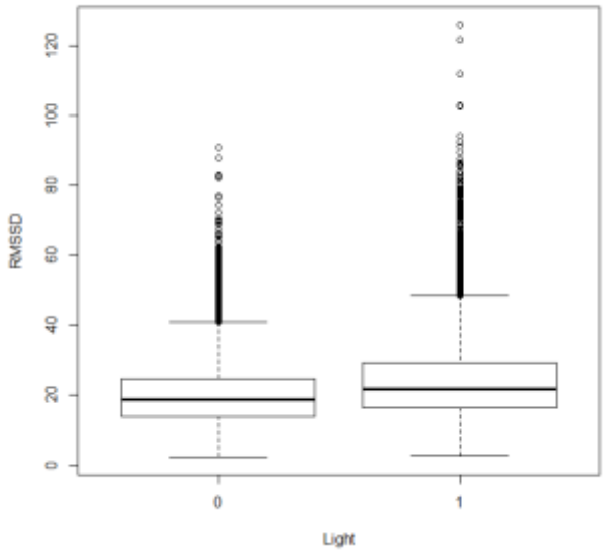
Om pulsvariabilitet (HRV): Når vi puster inn går pulsen opp og når vi puster ut går den ned. Vår evne til å endre pulsen på denne måten kalles variabilitet (HRV). Pulsen kan endres enten bevisst eller ubevisst på denne måten. Høy variabilitet er sunt. For lav variabilitet er et tegn på et tiltak bør settes inn for å skape forbedring. Kondisjonsutøvere har typisk svært høy variabilitet og hjertepasienter, personer med depresjon etc. har ofte lav variabilitet. HRV er et så klart tegn på sunnhet at jordmødre kan bestemme at barn skal fødes umiddelbart med keisersnitt hvis variabiliteten blir for lav. HRV synker med alderen og stiger ved sunn livsførsel som inkluderer hensiktsmessig fysisk aktivitet.

Om pNN50: Fra EKG-registreringene beregnes det serier med tidsintervaller mellom etterfølgende hjerteslag. Disse måles i millisekunder (ms), og kalles RR- eller NN-intervaller (NN står for normalt til normalt slag). Tids-domene (time domain)-hjertefrekvensvariabilitet er statistisk kartlegging av RR-intervallene i en registrering, f.eks. andelen som er 50 ms lengre enn det forutgående hjerteslaget (pNN50).

HRV og pNN50 i kombinasjon med selvvurdering skjema er brukt i vitenskapelig analyse mens den tredje indikator (sleep-score) bare er en info til førerne. Med sleep-score skal de få en indikator på den livsstil de lever og økt oppmerksomhet om det vil bidra til å oppnå en sunnere livsstil. Sleep score gir uttrykk for hvor godt restituert du er etter en natt. Jo høyere tallet er jo bedre uthvilt er du, objektivt sett. Ofte stemmer Sleep scoren din med følelsen din, men ikke alltid. Det er store variasjoner, både blant idrettsutøvere og oss andre, med hensyn til hvor godt vi kjenner oss selv. Vår søvn er resultatet av det livet vi har levd. De siste timene om dagene har størst innflytelse, men hele livet med ro eller stress, trening, inaktivitet og nytelse speiles i søvnen. Som du reder, ligger du, bokstavelig talt. Hvis du gjennomfører tiltak og øker din Sleep score har dette positiv innvirkning på svært mange områder. Du kan gjerne sammenligne det med at du blir yngre og får økt kapasitet på de fleste områder. De fleste har Sleep score over 20. Sunn ungdom har opp mot 100 og kondisjonsutøvere kan få en Sleep score på langt over 100. Hvis Sleep score er kontinuerlig lav kan det være hensiktsmessig å vurdere tiltak for å forbedre restitusjonen.

Når du er mer uthvilt jobber du mer uanstrengt. Du kan levere generelt høyere kvalitet, du forstår andre mennesker bedre, og uttrykker deg bedre. I tillegg orker du mer enten fysisk arbeid eller mentalt arbeid.

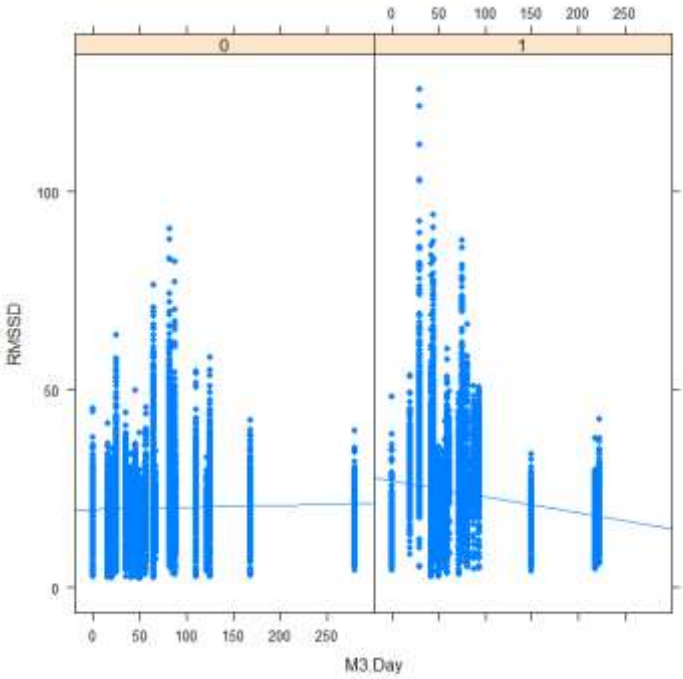
Resultatene viser at det er en forskjell mellom gode og dårlige lysforhold og målte stress i form av HRV (figur 5). En høy RMSSD betyr et lavt stressnivå mens en lavere RMSSD betyr at man er mer stresset.



Figur 5:RMSSD i dårlige (0) og gode (1) lysforhold

Produksjonsdata ble samlet inn fra skogsmaskiner som jobber for Nortømmer (Glåmdal Skogservice). Daglige produksjonsdata ble sammenlignet med fysiologiske målinger (fysiologiske måling av mental arbeidsbelastning) og som tidligere nevnt med spørreskjema NASA TLX test [10] (subjektive måling av mental arbeidsbelastning), med forskjellige lysforhold, miljøer og oppgaver.

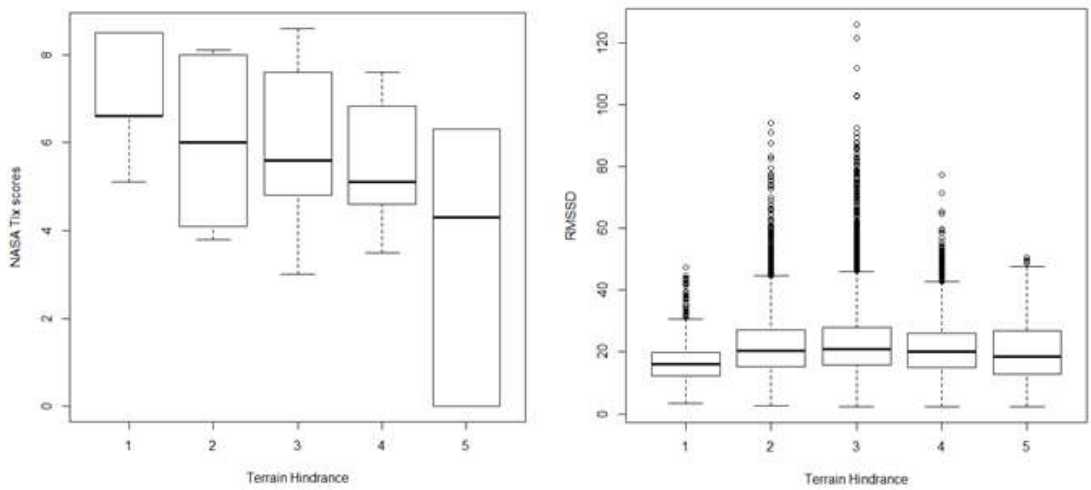
Med hensyn til produktivitet, viser resultatene at det er korrelasjon mellom høy produktivitet og høyt stressnivå uavhengig av lysforhold. Samtidig viser observasjonene at man ved lavere produktivitet (opp til ca. 100 m3/dag) lys forhold har en negativ korrelasjon med stress nivå (figur 6).



Figur 6:Relasjon mellom produktivitet og RMSSD i dårlige lysforhold (0) og gode lysforhold (1)

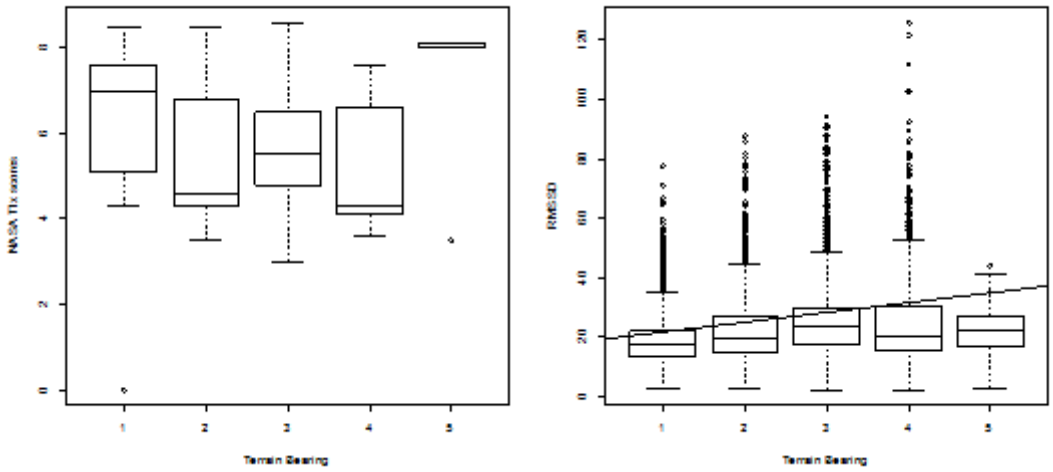
Som vist også i fig. 5 ser vi at målingene viser et generelt lavere stress nivå på gode lysforhold sommerstid og et høyere stress nivå under dårlige lysforhold om vinteren.

Økt innslag av undervegetasjon fører til en høyere stress nivå. Mykere terreng og dårlig lysforhold innebærer samtidig også høyere stressnivå. Det samme gjelder lokal topografi: ujevnt terreng og vinterforhold.. Figur 7 viser resultatene av NASA tlx (venstre) og av målt stress med hjerte variabilitet (høyre) i forbindelse til mengden hinder i terrenget. Vi ser at et ujevnt terreng (grad 1 i denne studien – mange store hinder flere høyere enn 80 cm definert som grad 5 på terreng typ skjema [11]) fører til et høyere nivå av opplevde stress (NASA tlx) og det er vist også på den høyre figur med den målt stress nivå.

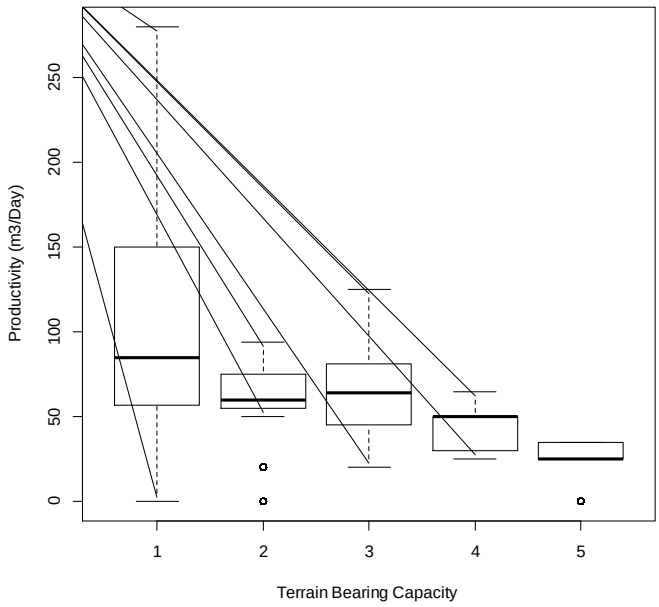


Figur 7: Relasjon mellom selv vurdering (NASA tlx test) – venstre, hjerte variabilitet (RMSSD)- høyre og terrengsjevnhet

I forhold til bæreevne av terreng viser resultatene at førerne opplevde mer stress med mykt terreng (grad 5) til venstre i figur 8 men dette underbygges ikke av resultatene fra direkte målinger, som viser redusert stress. Årsaken til dette antas å ligge i produktiviteten og i arbeidstempo. I de tørre dagene som produktiviteten var høyere (figur 9), slik synes sammenhengen mellom tidspress og stress sterkere enn korrelasjonen mellom miljøforhold (terrengs bæreevne) og stress. Selv om førerne opplevde et høyere stressnivå da de opererte i lett terreng viser den målte hjerte variabilitet at de var mer stresset på fast terreng.



Figur 8:Relasjon mellom selv vurdering (NASA tlx) - venstre, hjerte variabilitet (RMSSD) høyre og bæreevne av terreng; 1 representerer fast terreng, 5 representerer myk terreng



Figur 9: Sammenheng mellom produktivitet og bæreevne av terreng.

I løpet av dagens forløp viser analysen at rmsSD synker mot slutt av arbeidsdagen, en trend som er mer tydelig i dårlige lysforhold (vinter). Det betyr at stress nivå er høyere når førerne

gjør vedlikeholdsarbeid, og spesielt vinterstid. Tidligere forskning har vist at det er en sammenheng mellom disse miljøforholdene og registrerte skader [12].

Deltakere fikk en personlig rapport for testperioden. Det omfattet analyse av forestillinger og anbefaling om hvordan de kunne forbedre livsstilen deres. Rapporten er ikke inkludert i den sluttrapporten på grunn av etiske og personvernhensynene saker.

Resultatene (bare 2 av 6 deltakere) for sommer data (gode lys forhold) ble presentert på NES2015 Konferansen på Lillehammer (i vedlegg 2 er konferansen vitenskapelig artikkel på engelsk).

Simulatoren var beklageligvis ute av stand derfor var datagrunnlaget kun fra feltarbeid.

Prosjektet har vært vellykket både i forhold til første resultatene og besvarelsen fra deltakerne, samt gjennom mediedekning

(http://www.glommen-skog.no/2015/07/30/mentalt-krevende-a-kjore-hogstmaskin/; http://forskning.no/jord-og-skog-skog-skogbruk/2015/07/til-skogs-med-hogstmaskin-og-hjertemaler).

resultatene fra prosjektet vil bli presentert på den «7th International Conference on Applied Human factors and Ergonomics». Artikkel ble akseptert for presentasjon.

Konkusjon:

Prosjektet har vist at det ved dårlige lys- og temperaturforhold kreves mer oppmerksomhet og konsentrasjon enn ved gode, vanlige sommer forhold, fra maskinførernes side. Dette er enda mer tydelig i resultatene ved slutten av arbeidsskiftet vinterstid når vedlikeholdsarbeidet er utført. Maskinene vedlikeholdes av operatørene hovedsakelig i skogen. Derfor de viktigste problemene i arbeidsmiljøet forårsaket av: kulde og mørke om vinteren; nødvendigheten av arbeid med bare hender; risikoen for å skli og falle i forbindelse med klatring opp til, og under arbeider på maskinen; samt tid vise behovet for stor styrke for å håndtere tunge maskindeler. Tidligere forskning i nordiske lander viser at ulykkes frekvens ved vedlikeholdsarbeid er høy. Sammenlignet med av drift av maskiner faktisknesten like høyt som i manuelt hogstarbeid med motorsag. Forebygging av helseskader og ulykker knyttet til vedlikeholdsarbeid er et vanskelig, men viktig spørsmål. De forbedrede arbeidsforhold i operatørens førerhus påvirker ikke at vedlikeholdet hovedsakelig gjøres utendørs. Det er derfor viktig å fortsette forskning på dette feltet og opprettholde fokus på skader/ulykke og nesten-ulykke under skogdrift. Denne type data bidrar å identifisere hvilke oppgaver og forhold som er farlig eller ikke.

Referanser:

1. Vik, T. *Ergonomic research in the Nordic Countries related to work in the forest*. in *Machines and People, The Interface*. 2004. Hot Springs USA.
2. Nachreiner, F., *Standards for ergonomics principles relating to the design of work systems and to mental workload.* Applied ergonomics, 1995. **26**(4): p. 259-263.
3. Gellerstedt, S., *Operation of the single-grip harvester: motor-sensory and cognitive work.* International journal of forest engineering, 2002. **13**(2): p. 35-47.

4. Aalmo, G.O. and B. Talbot, *Operator performance improvement through training in a controlled cable yarding study.* International Journal of Forest Engineering, 2014. **25**(1): p. 5-13.
5. Meshkati, N. and P. Hancock, *Human mental workload*. 2011: Elsevier.
6. Wilson, G.F. and F.T. Eggemeier, *Mental workload measurement.* Int. Encyclopedia of Human Factors and Ergonomic, 2006. **1**: p. 504-506.
7. Konz, S. and S. Johnson, *Work Design Industrial Ergonomics*. 2000: Holcomb Hathaway Inc., Scottsdale, AZ.
8. Nicholls, A., L. Bren, and N. Humphreys, *Harvester Productivity and Operator Fatigue: Working Extended Hours*. 2004. 2004.
9. Lilley, R., et al., *A survey of forest workers in New Zealand: Do hours of work, rest, and recovery play a role in accidents and injury?* Journal of Safety Research; Journal of Safety Research, 2002.
10. Hart, S.G. and L.E. Staveland, *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research.* Human mental workload, 1988. **1**: p. 139-183.
11. Berg, S. and N. Forshed, *Terrängtypsschema för skogsarbete*. 1982: Forskningsstift. Skogsarbeten.
12. Väyrynen, S., *Safety and ergonomics in the maintenance of heavy forest machinery.* Accident Analysis & Prevention, 1984. **16**(2): p. 115-122.

Ås, 08/03/2016

Giovanna Ottaviani Aalmo (NIBIO)

Jarle Holt(OVERSKUDD)

Vedlegg 1

skog + landskap

Mental arbeidsbelastning og prestasjon hos skogsmaskinførene

Navn…….

Fødselsdato……..

Vekt…….

Høyde…….

Fysisk aktivitet i uka ……

Års av erfaring som fører……

DATO…….

For teknisk veiledning og spørsmålene ring: Giovanna 980 30 422

Undersøkelse av arbeidsbelastning (NASA TLX TEST)

Hensikten med denne undersøkelsen er å teste hvordan arbeidsbelastning påvirker prestasjonen til føreren.

Hva er arbeidsbelastning? Denne knyttes til arbeidsoppgaver i maskin og egenskaper hos arbeidstakeren, slik som ferdigheter, motivasjon og følelser.

Hvorfor er det viktig å måle arbeidsbelastning? Vi vet at arbeids- og hviletid er viktig for å utføre en god jobb og for å forebygge skader og ulykker. Hvis man jobber og ikke minst kjører en maskin i en tilstand der man er for trøtt og hvor man ikke har fått tid til hvile, så vil risikoen for skader og ulykker øke.

Økt arbeidsbelastning hos føreren kan ha sikkerhetsmessige konsekvenser.

Med testen er det mulig å undersøke om hvorvidt en forsøksperson opplever økt eller redusert arbeidsbelastning.

Definisjoner i testen:

Navn	**Ytterpunkter**	**Beskrivelse**
Mentale forespørsel	*Lav/Høy*	Hvor mye du tenker, bestemmer, beregner, husker undersøker, ser etc.?
Fysiske krav	*Lav/Høy*	Hvor mye fysisk aktivitet var nødvendig?
Tidsmessige krav	*Lav/Høy*	Hvor mye tidspress har du?
Ytelse/Prestasjon	*God/Dårlig*	Hvor fornøyd var du med dine oppgaver?
Anstrengelse	*Lav/Høy*	Hvor hardt du måtte jobbe (mentalt og fysisk)?
Frustrasjon	*Lav/Hoy*	Hvor usikker, motløs, stresset og irritert du er mot hvor sikker, glad, avslappet og selvtilfreds du er med oppgaven?

ARBEIDSDAGEN 1 Sted: ……. GPS:……..

Våknet kl.	
På jobb kl.	
Begynt å kjøre kl.	
Lunsj mellom kl. og kl.	
Slutt å kjøre kl.	
Gikk fra jobb kl.	
Effektiv timer jobbet	
Til sengs kl.	

Typ av drift: foryngelseshogst ☐ tynning ☐

Maskintype og alder……

Skogtetthet (Trær/daa) cirka:

Bæreevne av terreng : Fast 1 2 3 4 5 myk

Terrengsjevnhet : ujevn 1 2 3 4 5 jevn

Bratthet %: Mindre enn 40% ☐ Mer enn 40% ☐

Værforhold: Sol ☐ Regn ☐ Skyet ☐ Snø ☐

Dagens produksjon (m^3/dag): ……

Antall sortiment:……..

Under vegetasjon L M H

Fylles etter 5 timer av effektivt aktivitet (uten pauser)

Hvor mye du tenker, bestemmer, beregner, husker undersøker, ser etc.?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hvor mye fysisk aktivitet krevet oppgaven?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hvor mye tidspress hadde du for å utfører oppgaven?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hvor mye vellykket var du i å oppnå det du ble bedt om å gjøre?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hvor hardt måtte du jobbe for å oppnå din prestasjonsnivå?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hvor usikker, motløs, stresset og irritert var du?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Vedlegg 2:

Enhancing safety and productivity in fully mechanized forest operations; workload influence on operator performance

Giovanna Ottaviani Aalmo, PhD,
Norwegian institute for Bioeconomy (NIBIO)
Email:gio@nibio.no

Abstract

Operating forestry machines requires coping with the pressure to achieve high productivities while performing similar movements for consecutive hours. Working in monotonous environment often causes lack of concentration or unbalanced mental workload. Our research investigates the relations between performance, conditions and mental workload using objective and subjective measurements. These methodologies widely applied in other fields have not yet become known in the forestry sector. Workload, job stress, hard working conditions and recruitment are among some of the forestry workforce issues which could benefit from the results of our research.

Keywords: Forest harvester, mental workload, productivity, safety

1. Introduction

Modern forest machines (harvesters) have one of the most complex operational interfaces of any industrial production system, with more than 10 electro-hydraulic operations on each joystick, and around 3500 activations per hr. necessary in maintaining an acceptable production rate (Gellerstedt 2002). The operator must select, fell, process into logs of differing value, quality and dimension, about 2 trees per minute, over an 8-10 hr. working day. They must take regard of new price matrices and quality requirements which can be updated via the GSM network multiple times per day. In addition, they must continually navigate the machine through extreme terrain, take regard of important biotopes, boundaries and cultural heritage sites, and avoid damage to the soil, while maintaining a full awareness of safety issues and the falling direction of the trees.

Forest work is known to be one of the most demanding occupations from a physical, organizational and safety point of view. It is associated with numerous health affecting issues related to the implementation of the majority of the specific tasks necessary when harvesting, in addition to exposing the workers to adverse environmental factors while at work. The combination of these factors have initiated considerable research worldwide which aimed at identifying unsafe behaviour and possible patterns in the occurrence of accidents, and at increasing the level of safety during forest work.

Operating and maintaining the new high proficient forestry machines requires specific skills and continuous concentration; both terms have a strong influence on the operations efficiency and safety. Results of our previous research on the improvement of operator performance through training gave us preliminary understanding on the cognitive difficulties of operating rather simple joystick-like controls for a tower yarder (Aalmo and Talbot 2014). The multifunctional features of modern harvesters entails assets such as sufficient computer skills and round-the-clock situation awareness. As

explained by Gellerstedt (Gellerstedt 2002) operating a harvester is a highly complex activity which requires the implementation of simultaneous hand movements to execute the often overlapping functions. Time pressure is omnipresent because of the numerous micro-decisions needed in order to perform the work and the requirements for a minimum production per day. This usually results in an excess of cognitive activities which could degrade the concentration of the operator leading to negative outcomes.

The forest machine operator efficiency is highly correlated to his own well-being both in terms of workload (so health) and safety (Konz and Johnson 2000, Nicholls, Bren et al. 2004). An unbalanced physical and/or mental-workload, has a big impact not only on the system's productivity but also on the safety of the man employed in the operations; the risk level of the tasks performed is relatively high therefore the attention has to be constant because any distraction could lead to serious accidents (Lilley, Feyer et al. 2002). The concept of mental workload is wide and multifaceted, it can generally be defined as the *"operator's evaluation of the attentional load margin (between their motivated capacity and the current task demand) while achieving adequate task performance in a mission-relevant context"* (Meshkati and Hancock 2011). Generally low to moderate levels of mental workload go with acceptable levels of operator performance while high levels are associated with an increased information processing demand and lead to lower levels of operator performance (Wilson and Eggemeier 2006). Mental workload assessment is essential in the R&D of human-machine interactions in order to achieve higher levels of efficiency, and safety in the workplace. Regulating task demands so that they neither under-load nor overload an individual is important to ensure long-term productive efficiency of the operators in addition to increase operation safety, comfort, and consequently improve health.

2. Objectives

The overall aim of this research is to investigate using subjective and objective measurements, how working conditions affect mental workload and which mental workload-overload repercussions there are on system productivity. More specifically we aim at assessing:

- The relation between forest machine operator mental workload and productivity
- The relation between subjective criteria and objective criteria for mental workload evaluation

3. Material and methods

3.1. Participants

Six healthy operators were selected among a larger group of trained workers. The selection process focused on having as much variability as possible in age and years of experience while we tried to select operators driving the same type of harvesting machines (size and technology/brand). The operators willingly agreed to be part of the study.

Subjective workload measures

These assume that the direct relationship between increasing effort and its perception can be correctly assessed by the individuals tested. Among different and valuable methods, the NASA TLX was selected because it is a multidimensional method which is able to assess the components of the mental workload characterizing the experimental task. Additionally it seems to better accepted by the participants (Stanton, Hedge et al. 2004). The NASA Task Load Index (Hart and Staveland 1988) is a workload evaluation tool which accounts for within-task differences between participants, and between-task differences in the sources of the workload and uses six subscales to assess mental

workload: mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort, and frustration. Each of these subscales was described in detail and presented to the tested subjects before they undergo the test.

3.2. EEG-based workload measures

The heart rate and its variability were measured to assess the level of workload using Firstbeat Bodyguard2® (Firstbeat 2015) a small and reliable ECG device with continuous data logging and storage. This device has been successfully used to collect data for similar studies in previous research. The operators were wearing the device continuously; the device was taken off only when they were washing. Usually the heart rate variability is analysed with respect to two frequency bands of the power spectral analysis, the MF (0.04-0.15 Hz) and the HF (80.15-0.4 Hz)(Malik and Camm 1990). The HF component reflects cardiac vagal (i.e., parasympathetic) activity, while the LF component is associated with baroreflex activity (Casadei, Cochrane et al. 1995). RMSSD and pNN50 are closely related to the HF component of the power spectrum and thus, are strongly associated with cardiac vagal activity, reflecting a parasympathetic influence. Parasympathetic nerve traffic enacts its effects at a much faster (<1 second) rate than sympathetic outflow (>5 seconds); therefore, beat-to-beat changes in RR intervals (rMSSD) are considered a reflection of vagal outflow (Kleiger, Stein et al. 2005). The heart rate variability was therefore assessed with RMSSD (root-mean square differences of successive R-R intervals) in order to mitigate the observed difference in age between subjects (Reardon and Malik 1996). The total working time for each day was divided into the different activities performed, only the driving/operating part was considered in the analysis. In this study we focus on the analysis of the heart rate variability in the time domain.

3.3. External conditions

The environmental conditions of the harvesting site were recorded daily in addition to the production/day (m3/day). Additional parameters were concerning the forest density, the machine type and age, the terrain bearing capacity, the terrain hindrance and steepness, the weather condition, the amount of hours of light and the amount of under-vegetation in addition to the number of assortment and which type of operation was performed whether it was a clear felling or thinning.

Results

Being this study part of a bigger project, only preliminary results on two of the six subjects are presented in this extended abstract. All the data were analysed with R software package. Analysis of variance (ANOVA) test was used to investigate if the perceived rating of workload level were significantly different for the different conditions. The independent variables included thinning/clear felling, terrain hindrance, under vegetation, number of assortments and daily productivity. All values are given as mean value ± SD. A p value < 0.05 was considered statistically significant.

For the subjective rating the average of the rating were used (raw tlx test). After five hours of continuous work the operators were asked to assess their perceived workload. Additionally the individual performances of a whole working day were recorded. As shown in fig 1 (left) the subject occupied with the thinning showed a lower value of the perceived workload (tlx) and lower production per day than the one occupied with the clear felling who produced more. On the right side it is shown the rmsSD per day in the two different operations, an increased workload (higher production and high perceived rating) seems to be associated with a decrease in rmsSD in fact, the rmsSD for thinning resulted 29.7±6.2, while for clear felling was 17.9±5.1.

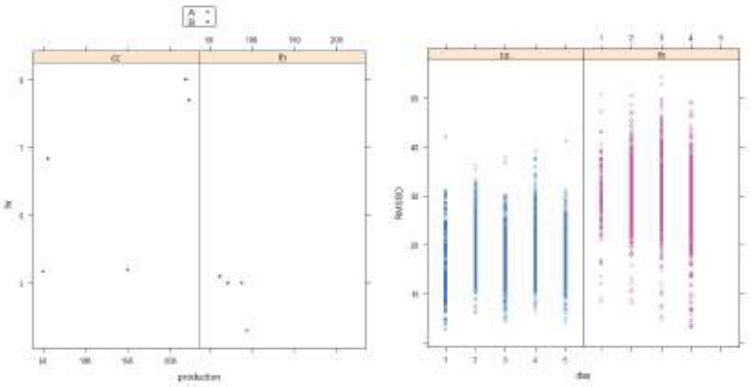


Figure1. Comparison of perceived workload, production (left) and rmsSD (right) per subject and day

Discussion and conclusions

The advantage of this methodology including both physiological and subjective measures, which to our knowledge has never been used in a forestry related context, is that it is non-invasive and highly reliable, and considers subjective and objective measurements precisely. Additionally it presents potential for becoming the basis for the development of safety guidelines not only in relation to operating forest machines such as harvesters but also other type of heavy machines. A further application could be to extend the test to forwarder operators (extraction of timber to roadside) and possibly cover the whole transportation chain with the inclusion of timber-trucks drivers. In the latest application a higher social impact could be expected in the avoidance of accidents on public roads.

This is an exploratory study, and is limited by the relatively small sample size, and the use of time-dependent, not frequency dependent HRV measures. We plan to validate the data in larger numbers using frequency-dependent measures, including low frequency power (LF), high frequency power (HF), LF/HF ratios. Additional analysis will be performed on the other environmental parameters such as tree density, under vegetation, terrain hindrance and light conditions. The subjects showed in fact increased perceived workload to the increased level of under vegetation. We expect to find a correlation also between mental workload and day-light conditions once the data collection will be completed.

Acknowledgements

The author wish to acknowledge the financial support from the Norwegian Forestry development Fund (Verdiskapingsfond) as well as the support of Skogserv AS for organizing the field work, of Overskudd AS for the equipment and the data collection and of my colleague Dr. Bruce Talbot for proof reading the article.

References

Aalmo, G. O. and B. Talbot (2014). "Operator performance improvement through training in a controlled cable yarding study." International Journal of Forest Engineering **25**(1).

Casadei, B., S. Cochrane, J. JOHNSOTON, J. Conway and P. Sleight (1995). "Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans." Acta Physiologica Scandinavica **153**(2): 125-131.

Commission, E. (2010). List of NACE codes.

Firstbeat. (2015). Retrieved 14 Feb 2015, from http://www.firstbeat.com/work-well-being/product-overview.

Gellerstedt, S. (2002). "Operation of the single-grip harvester: motor-sensory and cognitive work." International journal of forest engineering **13**(2): 35-47.

Hart, S. G. and L. E. Staveland (1988). "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." Human mental workload **1**: 139-183.

Kleiger, R. E., P. K. Stein and J. T. Bigger (2005). "Heart rate variability: measurement and clinical utility." Annals of Noninvasive Electrocardiology **10**(1): 88-101.

Konz, S. A. and S. L. Johnson (2000). Work design: industrial ergonomics, Holcomb Hathaway Scottsdale.

Lilley, R., A. M. Feyer, P. Kirk and P. Gander (2002). "A survey of forest workers in New Zealand: Do hours of work, rest, and recovery play a role in accidents and injury?" Journal of Safety Research; Journal of Safety Research.

Malik, M. and A. Camm (1990). "Heart rate variability." Clinical cardiology **13**(8): 570-576.

Meshkati, N. and P. Hancock (2011). Human mental workload, Elsevier.

Nicholls, A., L. Bren and N. Humphreys (2004). "Harvester productivity and operator fatigue: working extended hours." International Journal of Forest Engineering **15**(2): 57-65.

Reardon, M. and M. Malik (1996). "Changes in heart rate variability with age." Pacing and clinical electrophysiology **19**(11): 1863-1866.

Stanton, N. A., A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas and H. W. Hendrick (2004). Handbook of human factors and ergonomics methods, CRC Press.

Wilson, G. and F. Eggemeier (2006). "Mental workload measurement." KARWOWSKI, W. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors **2**: 814-817.