



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ  
KATEDRA TĚŽBY A ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

SPOTŘEBA ČASU A PRODUKTIVITA PRÁCE  
VÍCEOPERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ V ZÁVISLOSTI NA  
LIDSKÉM FAKTORU  
DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor: Ing. Jan Macků

Vedoucí: doc. Ing. Jiří Dvořák PhD.

2014

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Jiřího Dvořáka PhD. Všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal, řádně cituji.

V Praze dne 13. 3. 2014

---

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Dvořákovi PhD. za odborné vedení a konzultace a především za velkou podporu v průběhu celého mého studia. Všem pedagogům Katedry těžby a zpracování dřeva za motivaci a mým rodičům za dlouhá léta podpory při mých studiích.

V Praze dne 13. 3. 2014

---

## Obsah:

<b>1. ABSTRAKT .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
<b>3 LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>6</b>
3.1 TĚŽEBNÍ STROJE .....	6
3.2 JEDNOOPERAČNÍ STROJE .....	7
3.3 VÍCEOPEAČNÍ STROJE .....	7
3.3.1 <i>Historický vývoj víceoperačních těžebních strojů .....</i>	<i>8</i>
3.3.2 <i>Vývoj harvestorové technologie v ČR.....</i>	<i>10</i>
3.3.3 <i>Funkce víceoperačních strojů .....</i>	<i>11</i>
3.3.4 <i>Funkce harvestoru a vyvážecího traktoru.....</i>	<i>12</i>
3.3.5 <i>Charakteristika a rozdělení harvestorů.....</i>	<i>12</i>
3.4 KONSTRUKCE HARVESTORU.....	14
3.4.1 <i>Podvozek .....</i>	<i>15</i>
3.4.2 <i>Hydraulický jeřáb.....</i>	<i>16</i>
3.4.3 <i>Těžební hlavice .....</i>	<i>17</i>
3.4.4 <i>Kabina.....</i>	<i>17</i>
3.5 VÝHODY HARVESTOROVÉ TECHNOLOGIE .....	20
3.6 NEVÝHODY HARVESTOROVÉ TECHNOLOGIE .....	21
<b>3.7 EFEKTIVITA HARVESTOROVÉ TECHNOLOGIE .....</b>	<b>22</b>
3.7.1 <i>Vymezení pojmu efektivita v rámci této disertační práce.....</i>	<i>22</i>
3.7.2 <i>Ekonomická efektivita.....</i>	<i>23</i>
3.7.3 <i>Ekologická čistota práce.....</i>	<i>27</i>
3.7.4 <i>Ergonomie a hygiena práce HT.....</i>	<i>31</i>
3.7.5 <i>Vliv HT na mimoprodukční funkce lesa .....</i>	<i>38</i>
<b>4 CÍL PRÁCE A METODIKA .....</b>	<b>40</b>
4.1 CÍL PRÁCE.....	40
4.2 METODIKA .....	41
4.2.1 <i>Měření pomocí přístroje Biofeedback 2000 Xpert .....</i>	<i>43</i>

4.2.2	<i>Varianty měření</i>	49
4.2.3	<i>Analýza dat</i>	52
4.2.4	<i>Základní hypotézy práce</i>	53
4.3	OČEKÁVANÝ PŘÍNOS PRÁCE	53
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY</b>	<b>54</b>
5.1	KOMPARACE BIOMETRICKÝCH ÚDAJŮ OPERÁTORA HT S ÚDAJI Z JINÝCH PRACOVNÍCH OPERACÍ SOUVISEJÍCÍCH S TĚŽBOU DŘÍVÍ A DÁLE Z BĚHU A CHŮZE	54
5.1.1	<i>Výrobně technické podmínky experimentu</i>	54
5.1.2	<i>Výsledky experimentu</i>	55
5.1.3	<i>Dílčí závěr</i>	61
5.2	NEINVAZIVNÍ METODA KOMPARATIVNÍHO MĚŘENÍ ČINNOSTI OKOHYBNÝCH SVALŮ	62
5.2.1	<i>Výrobně technické podmínky experimentu</i>	62
5.2.2	<i>Výsledky experimentu</i>	63
5.2.3	<i>Dílčí závěr</i>	67
5.3	KOMPARACE BIOMETRICKÝCH ÚDAJŮ OPERÁTORA HT V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ S HUDBOU A BEZ NÍ	67
5.3.1	<i>Výrobně technické podmínky experimentu</i>	68
	<i>Stanoviště</i>	68
5.3.2	<i>Výsledky experimentu</i>	68
	<i>Rozložení hodnot naměřených v rámci experimentu ukazují grafy 10 a 11 pro testovací schéma bez hudby – hudba relaxační a 12 a 13 pro schéma bez hudby a hudba agresivní</i>	69
5.3.3	<i>Dílčí závěr</i>	72
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>75</b>
	<b>PŘÍLOHY</b>	<b>89</b>
	SEZNAM PŘÍLOH	89

# 1. Abstrakt

Harvestorová technologie (HT) je v současnosti moderní těžebně dopravní technologií a jako taková představuje ucelený komplex výrobních postupů od přípravy porostu přes těžbu a manipulaci s dřívím až k potěžebním úpravám. Velmi rychlý vývoj této technologie spojený s výrazným vzrůstem jejího podílu klade důraz na optimalizaci výrobních podmínek a na minimalizaci ztrát a poškození porostů. Velmi důležitým kritériem pro posouzení vlastností HT při její nasazení do konkrétních výrobních podmínek je ekologická čistota práce, zejména z pohledu poškození okolostojících stromů, rizika eroze a zhutnění půdy v místě realizovaného těžebně-dopravního zásahu. Vhodnost nasazení HT do daných stanovištních podmínek je však v praxi často opomíjena vlivem ekonomických tlaků. Pořizovací cena strojů je relativně velká a proto je logickým vyústěním snaha jejich majitelů maximálně využít potenciál stroje i za cenu nasazení do podmínek málo vhodných až nevhodných.

Dalším důležitým faktorem HT je faktor lidský, který zásadně ovlivňuje jak efektivitu, tak čistotu práce. Práce v lesním prostředí, v náročných terénních i klimatických podmínkách a v nepravidelné pracovní době klade velké nároky na psychickou i fyzickou odolnost operátora. Neopomenutelný je faktor stresu, způsobený jednak výše zmíněnými podmínkami, dále velkou odpovědností za stroj často v hodnotě několika milionů, tepelným a světelným inkomfortem, vibracemi uvnitř kabiny nebo dlouhotrvajícím posezem a fixováním rukou v jedné poloze.

Všechny tyto faktory a mnohé další se přímo podílejí na celkové efektivitě HT. Cílem této práce je co podrobně pojmenovat jednotlivé vlivy a jejich účinek na efektivitu a ergatičnost výroby HT se zaměřením zejména na vliv operátora.

V rámci této disertační práce proběhla série měření pomocí přístroje Biofeedback 2000 Expert, monitorující biometrické údaje operátora stroje. Cílem těchto měření je posoudit vliv lidského faktoru na výkonnost HT.

Klíčová slova: harvestor, lidský faktor, efektivita, výkonnost

## **Abstract**

Wood harvesting technology (HT) is currently the most advanced logging and transport technology, and as such represents a complex of production processes. Very rapid development of this technology, coupled with a significant increase in the number of machines in use, asks for the optimization and for minimalization of damage on vegetation. A very important criterion for assessing the properties of HT during its deployment in specific production conditions is the ecological purity of the work, especially in terms of damage to bystander's trees, erosion and soil compaction. The suitability of HT use in the given habitat conditions is often neglected due to economic pressures. Cost of machines is relatively big, so it's owners want to maximize their profit regardless the environment.

Another important factor, which significantly affect HT efficiency, is the human factor. Working in the forest, in difficult terrain and climatic conditions and irregular hours of work places great demands on mental and physical endurance of the operator. Very important factor, which limits the HT efficiency is the stress factor. Stress is caused by both conditions above , as well as great responsibility for the machine.

All of these factors and many others directly involved in the overall effectiveness of HT. The aim of this work is to name individual influences and their effect on production efficiency of HT with a particular focus on the influence of the operator.

As part of this thesis was a series of measurements using the Biofeedback 2000 Expert device monitoring biometrical data of the operator. The aim of these measurements is to assess the influence of human factor on the performance of HT.

Key words: harvester, human factor, efectivity, production, performance

## 2 Úvod

Těžba dříví provází lidstvo v podstatě od počátku jeho existence, což dokládají mnohé nálezy pravěkých seker a pil. Dříví bylo vždy materiálem relativně snadno dostupným a velmi vhodným pro celou škálu lidských činností. Pro své mechanické vlastnosti, zejména snadnou opracovatelnost a nízkou tepelnou vodivost se dříví stalo velmi žádaným materiálem pro výrobu nářadí a nástrojů, pro stavebnictví, pro výrobu předmětů denní potřeby, jakož i šperků, hudebních nástrojů a podobně. Zásadní roli ve vývoji člověka a v přežití lidstva vůbec hrálo dřevo jako zdroj tepla pro vytápění lidských obydlí a při přípravě pokrmů, později při tavení kovů a jiných činnostech podmiňujících rozvoj lidstva.

V souvislosti se stále rostoucí potřebou dříví došlo na našem území v období středověku téměř k úplnému odlesnění. Z tohoto období také pochází první zmínky o snahách regulovat těžbu dříví.

Jen těžko by bylo možné najít paralelu mezi tehdejšími a dnešními těžebními postupy. Stejná ovšem zůstává snaha maximalizovat množství kvalitních výřezů za co nejnižších výrobních nákladů.

Těžba dříví byla a je hlavním zdrojem příjmů v lesnictví, opomineme-li relativně malé zpeněžení mimoprodukčních funkcí lesa (rekreace, sběr hub a lesních plodů, včelařství apod.), je těžba majoritním zdrojem. Je vrcholem dlouholeté plánovací, pěstební a ochranné činnosti lesníků a je také hlavní cestou k získání financí na zalesňování a další pěstební činnost či ochrannou činnost.

Nástroje a stroje pro těžbu dříví zaznamenaly pochopitelně značný vývoj, vrcholem současné těžebně-dopravní technologie je technologie harvesterová, která, díky spojení harvestoru a vyvážecího traktoru, umožňuje realizaci jak těžby dříví, tak sortimentaci, měření a kubírování a také manipulaci až po odvozní místo. Z tohoto pohledu představuje HT velmi výkonný a relativně šetrný těžebně-dopravní systém, samozřejmě za předpokladu, že je nasazený do vhodných podmínek a obsluhována náležitě teoreticky i prakticky vyškolenou obsluhou.

Stejně tak jako ve všech odvětvích lidské činnosti je i v lesní těžbě vyvíjen zejména tlak ekonomický. Snaha o maximalizaci výnosů se často dostává



do sporu s hlediskem ochrany přírody, nicméně finanční stránka věci je rozhodující. Harvester a vyvážecí traktor jsou stroje v pořizovací hodnotě milionů korun, školení obsluhy, servis, logistika, to vše znamená další náklady, proto je snahou všech provozovatelů HT maximalizovat využití strojů, často za cenu nasazení do nevhodných podmínek. HT, jinak ekologicky poměrně čistá, při využití v nevhodných terénních nebo jiných podmínkách nebo při nedostatečně připravené obsluze, pochopitelně nepodává očekávanou výkonnost a především příliš zatěžuje životní prostředí. To se týká především nasazení HT do porostů s malou únosností půdy, podmáčených nebo příliš svažitých, kde způsobuje nadměrnou půdní erozi a přílišné zhutnění půdy.

Nezanedbatelným hlediskem pro optimalizaci výroby HT je lidský faktor. Jednak z pohledu ekonomické a ekologické čistoty práce, ale také z pohledu ochrany zdraví operátorů. Ačkoliv není obsluha HT považována za fyzicky náročnou práci, je zřejmé, že na operátory je vyvíjen tlak z mnoha stran, zejména:

- ekonomický (ze strany zaměstnavatele),
- ekologický (ze strany organizací ochrany přírody i od laické veřejnosti),
- psychický (ovládání stroje je poměrně složité a jeho hodnota je vysoká),
- fyzický (nepravidelná pracovní doba, práce ve zhoršených světelných podmínkách apod).

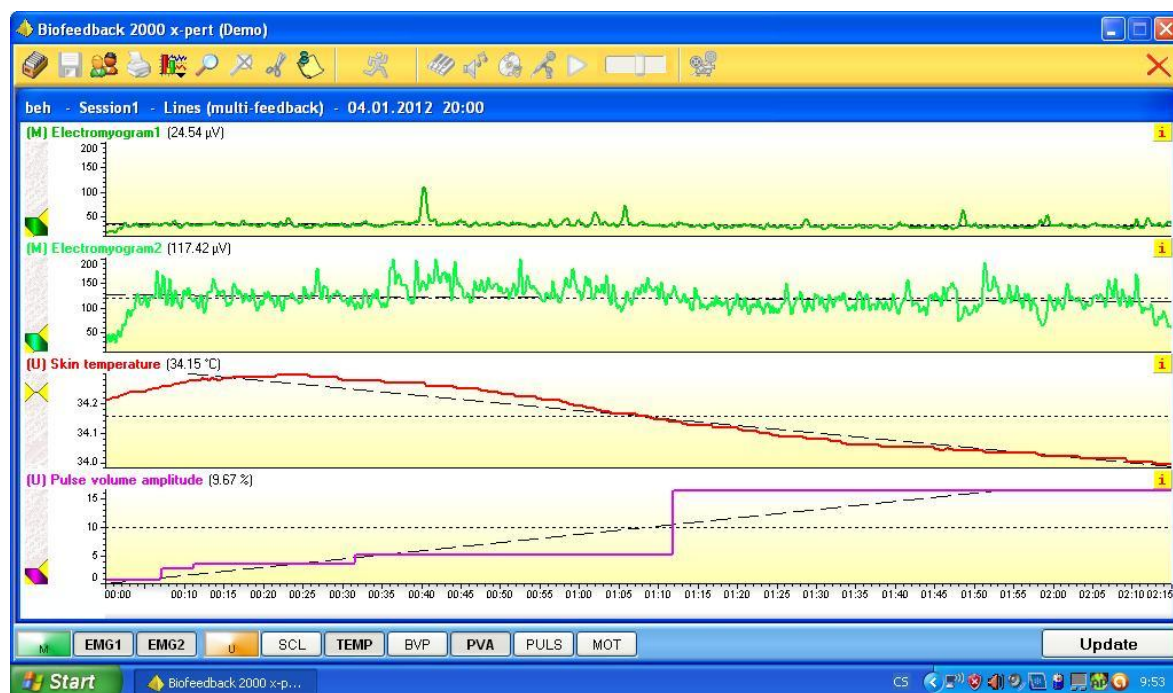
Výše zmíněné faktory ovlivňují zásadním způsobem celkovou efektivitu a čistotu výroby HT. Cílem této disertační práce je podat co nejširší pohled na tyto faktory s cílem optimalizace výroby jak po stránce ekonomické, tak po stránce ochrany zdraví a života a také ochrany přírody.

Hlavním zřetelem této práce je lidský faktor. Cílem je jednak popsat vztah operátor-stroj a jeho vzájemné vlivy, rizika práce, únavu a chronickou únavu a především vliv lidského faktoru na efektivitu a čistotu výroby.

Za účelem zjištění náročnosti práce HT a z toho plynoucích zdravotních rizik, byla pořízena série měření pomocí přístroje Biofeedback 2000Xpert (obr. 1). Toto zařízení umožňuje sledovat v reálném čase biometrické údaje (tepová frekvence, dechová frekvence, EMG svalových skupin, teplota) člověka, v tomto

případě operátora a následně komparativně posoudit náročnost práce v daných podmínkách a výsledek vztáhnout na výkonnost HT pro konkrétní případ nasazení.

Výsledky získané v rámci řešení této disertační práce by měly přispět k optimalizaci výroby HT jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska ochrany zdraví, přírody a také majetku a osob.



Obr. 1. Graf biometrických údajů operátora. Shora: EMG 1, EMG 2, Teplota, Puls (archiv autora)

### 3 Literární rešerše

Pro účely této disertační práce byla literární rešerše pojata v širším kontextu. Není možné posuzovat jednotlivé faktory výroby, respektive těžby dříví harvestorem, aniž by experiment nevycházel z širšího povědomí o problematice těžby dříví jako takové.

#### 3.1 Těžební stroje

Pro účely této disertační práce je třeba přesně vymezit pojmy a rozdělení jednotlivých technologií. Těžební stroje je možné rozdělit podle řady různých hledisek. Například podle konstrukce, uložení jeřábu (hydromanipulátoru) typu podvozku, použitých materiálů, hmotnosti, třídy výkonu a v neposlední řadě také podle ceny. Pro účely této práce se jako nejvhodnější ukázalo členění podle počtu vykonávaných operací. Jasným kritériem je, zda je stroj zhotoven za jedním účelem například k odvětvování, nebo je s jeho pomocí možné vykonat několik pracovních úkonů spojených s těžbou a manipulací. Podle toho se těžební stroje vyčleňují do dvou skupin:

- jednooperační,
- víceoperační.

Samozřejmě existuje mnoho dalších přístupů k rozdělení těžebních technologií, dle pohyblivosti na mobilní a imobilní (stacionární), podle typu podvozku na kolové, pásové, kolopásové, kráčející, dle řezného ústrojí (řetězová pila, kotouč, nůžky) atd. (*Janeček, 2002*). Ovšem za základní kritérium pro rozdělení těžební techniky je možné považovat její funkci, respektive funkce.

### **3.2 Jednooperační stroje**

Jednooperační stroje vykonávají vždy jen jednu operaci, ať už se jedná o kácení, krácení, odvětvování nebo přibližování. Tato zařízení byla využívána především v minulosti většinou jako doplnění k práci dřevorubce. Jednalo se o odvětvovače, odkorňovače nebo zkracovací pily, nejdříve poháněné párou, později spalovacími motory nebo zřídka elektromotory. Jejich použití zvýšilo efektivitu výroby především díky centralizaci určitých výrobních úkonů, docházelo ovšem také k většímu tlaku na životní prostředí. Škody na okolních porostech způsobené častou manipulací a překládáním dříví byly větší než při těžbě dříví motorovou pilou (MP) a jeho odvozu na manipulační sklady, kde bylo provedeno další zpracování (Ulrich 1989). Logickým vyústěním potřeb a nároků lesníků byl vznik víceoperačních strojů.

### **3.3 Víceoperační stroje**

Víceoperační stroje vykonávají více operací, například kácení, odvětvování a zpracování kmene. Víceoperační stroje se mimo jiné dělí na harvestory a procesory. Harvester realizuje několik pracovních úkonů včetně těžby, zatímco procesor strom nekácí. Procesor navazuje většinou na práci dřevorubce s MP, pokácený strom odvětví, případně odkorní, nakrátí a změří.

Harvestorová technologie je v současné době nejmodernějším systémem víceoperační těžební techniky. Postupným zdokonalováním vznikl stroj vybavený většinou jedním hydraulickým ramenem s těžební hlavicí, která umožňuje realizovat těžbu a následné zpracování od uchopení stojícího stromu po uložení odvětvovaných sortimentů podél linky k další manipulaci.

### 3.3.1 Historický vývoj víceoperačních těžebních strojů

První víceoperační stroje se začaly objevovat koncem čtyřicátých let ve Finsku a Švédsku. Prvenství v tomto oboru náleží pravděpodobně nadnárodnímu koncernu Rauma-Repola FMG (Forest Machine Group), který ovládal velkou část strojírenského trhu. V průběhu 80. a 90. let došlo ke spojení samostatných firem s výrobou severských typů strojů: FMG Alfta Ab a FMG Filipstad Ab - Švédsko FMG Cemet-Agrip S.A. - Francie, FMG ÖSA Ab, FMG Lokomo Forest (Finsko) a Timberjack Inc. v Kanadě s největší produkcí SLKT. Firma Timberjack představila svůj první harvester v roce 1973. Další skupinu výrobců zahrnuje The Tractor Group of Valmet, Velsa Oy v Kurice (Finsko), Umea Mekaniska Ab a Cranab Ab ve Švédsku, Gafner Machine Inc. v Michiganu, Implemater Equipamentos Florestais v Brazílii a společnou výrobu UKT (Lasák et al. 1996).

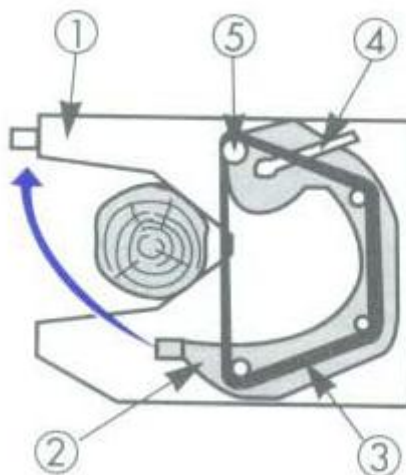
První stroje měly množství nedostatků a to zejména vysokou hmotnost (až 40 tun) malou průchodnost terénem, nedokonalý měřicí systém (Laurier et al., 2003). U prvních strojů byl kácecí agregát namontován pevně na těle stroje a ke každému těžnému stromu bylo nutné najíždět separátně. Velké zvýšení manipulovatelnosti a tím i efektivity práce přineslo použití hydraulického jeřábu, které umožnilo zpracování několika kmenů z jednoho pracovního postavení. (Ulrich et al. 2002).

Samotným řezným (kácecím) ústrojím byly nůžky, nůž s přítlačnou plochou (obr. 2), řezný pilový kotouč a později řezací řetěz. (Laurier et al., 2003). Nůžky a nůž s přítlačnou plochou se v praxi neosvědčily, jednak pro vysoké nároky na pracovní tlak a jednak pro velké ztráty dřevní suroviny (kmen byl v místě oddělení rozdrčen a jednotlivá dřevní vlákna mohla být vytrhána). Řezný pilový kotouč měl sice mnohem lepší výsledky, co se týče ztrát dřevní suroviny, rovněž řezná rychlost byla značná, ale ani ten se v praxi neosvědčil. Zejména proto, že úrez kotouče byl menší než polovina jeho průměru a jeho velká hmotnost a především značná setrvačnost kladly velké nároky na konstrukci kácecí hlavy a zejména hydraulického jeřábu.



**Obr. 2.** Jeden z prvních harvestorů Lokomo Makeri 34T s kácecími nůžkami (Laurier et al., 2003)

Zvrat v problematice řezného ústrojí přineslo použití řezacího řetězu, který spojoval velkou rychlost řezu s malými ztrátami prořezem a s relativní konstrukční jednoduchostí. Prvním technologickým řešením bylo použití tzv. bezvodičového (bezlišťového) vedení řetězu (obr. 3) Řetěz byl napnut na otáčivých napínacích kladkách a poháněn přes kladky hnací. Řezné ústrojí se pohybovalo na otočných čepech a umožňovalo oddělení celého kmene viz modrá šipka na obr. 2. Nevýhodami této konstrukce bylo zejména složitost a tím častá poruchovost a časté přetržení řetězu.



**Obr. 3.** Schéma konstrukce bezlišťové řetězové kácecí hlavice, 1 – šasí hlavice, 2 – pohyblivý nosič pily, 3 – řetěz, 4 – vyhazovač řetězu, 5 – napínací a hnací kladky (Laurier et al., 2003)

Postupným vývojem se došlo až ke konstrukci řezného ústrojí podobné jako u MP, která splňuje nejlépe všechny kladené nároky a která velmi rychle vytlačila ostatní druhy řezného ústrojí.

V průběhu osmdesátých let dvacátého století byla těžební hlavice zdokonalena přidáním podávacích a přítlačných válců a odvětvovacích nožů. Zároveň byl zdokonalen systém měření a registrace stromových veličin. Výrazné zlepšení konstrukce stroje a hlavice, snížení hmotnosti a zefektivnění celého konceptu stroje vedlo k velmi rychlému růstu počtu nasazovaných strojů (Wildeman, 2011). V některých zemích Severní Evropy je HT realizováno více než 90 % těžeb, v USA 35 – 45 % (Conradie et al., 2004). Galager a O'Carol (2001) uvádějí, že v Irsku se pomocí HT realizuje až 95 % všech těžeb.

Zcela nová, rychle se rozšiřující metoda je měření a mapování porostu pomocí laserové kamery upevněné na kábecí hlavici případně na kabině, která by do budoucna mohla velmi usnadnit stanovování porostní zásoby a dalších lesnických významných veličin a společně s dalšími moderními metodami stanovování porostních veličin jako je letecký scanning, laserová taxace a další by měla přispět k výraznému zvýšení efektivity HT, jak uvádí mimo jiné (Melkas et. al., 2008; Hyyppa et. al., 2004; Hyyppa et. al., 2007; Carr, 1992) uvádí laserové měření porostních veličin za jednu z nejdůležitějších metod pro moderní lesnictví, což potvrzuje i Kalliovirta et. al. (2005) a Jutila et. al. (2007).

### **3.3.2 Vývoj harvestorové technologie v ČR**

Lasák a Němec (1996) datuje první využití harvestoru u nás do počátku sedmdesátých let.

Důvodem pro rozšíření harvestorové technologie u nás byla likvidace imisemi destruovaných porostů v Severních Čechách a to zejména v druhé polovině osmdesátých let (Gross, 1988), (tab. 1).

V ČR se v 2. polovině 80. let začaly používat následující typy víceoperačních těžebních strojů: kolopásový harvestor LOKOMO-MAKERI 33T, FMG 34T LOKOMO-MAKERI, kolový FMG 0470, FMG ÖSA 250 Ewa, SOMET 7700 (na podvozku LKT 120). Podle Janečka (2002) patří pro předmýtní porosty

ke špičce FMG 570, VALMET 701, FX 50 H a pro mýtní těžby FMG LOKOMO 990, VALMET 901 a 902, NORCAR 660 H Multi. Vývoj v technice a mechanizaci zvyšuje možnost nasazení víceoperačních strojů, které by konaly celý komplex výrobních operací při vysoké výkonnosti a bez poškození porostu, který po těžebním zásahu zůstává (Lasák et al. 1996).

**Tab. 1.** Průměrný stav harvestorů a vyvážecích traktorů (Douda, 1986)

rok	1976	1977	1978	1979	1980
harvestory (ks)	0	1	3	10	13
vyvážecí traktory (ks)	49	60	65	73	68

### 3.3.3 Funkce víceoperačních strojů

Víceoperační stroje vykonávají operace spojené s těžbou dříví, jeho zpracováním a manipulací. Víceoperační stroj vykonává tyto operace:

- hlavní, to je takové, při nichž přímo vzniká cílová surovina – sortiment dříví
- vedlejší, nutné k vykonání operací hlavních.

U víceoperačních těžebně-dopravních strojů rozlišujeme následující hlavní operace:

- a) kácení stromu - podřezání, povalení, odložení*
- b) odvětvoování stromu - pokáceného, stojícího*
- c) odkornění kmene - do hněda, do běla, loupání*
- d) zkracování kmene - na výřezy, sortimenty, vrcholku*
- e) svazkování stromů, kmenů, výřezů - volné, vázané*
- f) soustředování kmenů, stromů, výřezů – vyklizování, přibližování nebo vyvážení (svěrný oplení, ložná plocha)*
- g) druhování - kmenů, sortimentů*
- h) třídění - kmenů, sortimentů*
- i) štěpkování - stromů, kmenů, výřezů, větví*



- j) nakládání - stromů, kmenů, výřezů, štěpek*
- k) skládání - stromů, kmenů, výřezů, štěpek*
- l) měření - délek, průměru, kubatury*
- m) rovnání - hromad, palet, kontejnerů*
- n) odvoz - stromů, kmenů, výřezů, krátkého dřeva (Janeček 2002).*

### **3.3.4 Funkce harvestoru a vyvážecího traktoru**

Úseky pracovní operace, které harvestorová technologie provádí, jsou následující:

#### Harvestor:

- jízda stroje do nového postavení,
- pokácení stojícího stromu,
- odvětvení kmenu,
- sortimentování kmenu,
- změření a zaznamenání rozměrů a objemu kmene a jednotlivých sortimentů,
- popřípadě odkornění (běžně se neprovádí).

#### Vyvážecí traktor:

- jízda stroje z OM do porostu,
- naložení dříví v porostu,
- vyvážení dříví z porostu na OM,
- složení dříví na OM podle jednotlivých sortimentů.

### **3.3.5 Charakteristika a rozdělení harvestorů**

*„Harvestor je samopojízdný víceoperační stroj, který kácí, odvětvuje, rozřezává a ukládá strom v jednom cyklu (Ulrich et al. 2002).“*

Harvestor společně s vyvážecím traktorem realizuje kompletní proces těžby dříví, odvětfování, sortimentace a manipulace, který končí uložením sortimentů

do hrání na OM. Harvestor pomocí hydraulického jeřábu vybaveného těžební hlavicí uchopí strom, provede pokácení, odvětvení, sortimentaci a záznam stromových veličin a jednotlivé sortimenty uloží do hromad vedle těžební linky podle vyráběných sortimentů. Vyvážecí traktor postupuje porostem po vyznačených linkách za harvestorem a pomocí hydraulického jeřábu vybaveného nejčastěji čelistmi nakládá vyrobené sortimenty na k tomu určenou ložnou plochu mezi klanice. Výřezy poté vyváží z porostu na OM a zde je ukládá do hrání podle jednotlivých sortimentů.

Z hlediska vhodnosti nasazení jednotlivých strojů do konkrétních podmínek hraje zásadní roli výkonová třída motoru stroje.

Ulrich et al. (2002) třídí harvestory podle výkonu hmotnosti a dosahu hydraulického jeřábu na:

- malovýkonové: do 70 kW, dosah: 6,0-8,5 m, hmotnost: 4-8 t
- středněvýkonové: 70 – 140 kW, dosah: 8,5-10,0 m, hmotnost: 9-13 t
- vysokovýkonové: nad 140 kW, dosah: 10,0 – 11,0 (15,0)m, hmotnost: 13-15 t (18t)

Jednotlivé výkonové třídy se liší v dalších parametrech (tab. 2). Je samozřejmé, že daná výkonová kategorie je vhodná do konkrétních podmínek, malovýkonové harvestory se uplatní v probírkách, kde je jejich malá hmotnost a rozměry výhodou, naopak v mýtních těžbách by jejich výkon nebyl dostatečný. Posouzení vhodnosti nasazení stroje a jeho efektivita v daných podmínkách je jedním z hlavních cílů této disertační práce.

**Tab. 2.** Charakteristické údaje harvestorů (FPP Harvestor/Forwarder 1998 in Ulrich a kol. 2002)

harvestor		malý	střední	velký
výkon motoru	(kW)	< 70	70 - 140	140 <
hmotnost	(t)	4 - 8	9 - 13	13 - 15(18)
šířka	(cm)	160 - 200	240 - 280	260 - 290
dosah jeřábu	(m)	6,0	8,5 - 10,0	10,0 - 11,0 (15)
hmotnatost těženého kmene	(m <sup>3</sup> /strom)	do 0,15	do 0,35	nad 0,35
úřez	(cm)	20 - 35	35 - 45	45 - 65
hod. výkonnost	(m <sup>3</sup> /mth)	3 - 5	4 - 8	5 - 15
roční výkonnost	(tis m <sup>3</sup> /rok)	7 - 8	12	18

Ulrich et al. (2002) harvestory dále dělí podle způsobu odvětvení na:

- stroje s jedním uchopením stromu těžební hlavicí, kde těžební hlavice umístěná na jeřábu před kabinou operátora strom uchopí, pokácí, odvětví, rozřeže a uloží na jedno uchopení
- stroje s dvojitým uchopením stromu, kdy těžební hlavice strom pouze pokácí a přesune do druhého agregátu, zpravidla umístěného za kabinou operátora, kde dojde k odvětvení a rozřezání kmene

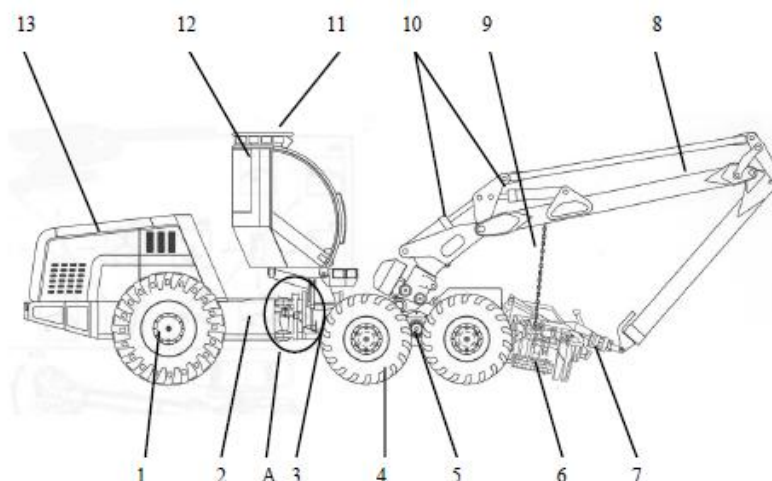
*V praxi převládají harvestory jednoúchopové. Za hlavní důvody lze považovat jednak rychlejší a efektivnější práci (nedochází k prodlevám při překládání kmene z těžební hlavice do odvětovacího agregátu), dále při odvětvení těžební hlavicí dochází ke vzniku krytu těžebně-dopravní linky a kořenových náběhů stromů vrstvou klesu. Zároveň jsou zpracované dřevní výřezy ukládány přibližně kolmo k těžebně-dopravní lince, což je výhodné pro další manipulaci s nimi. Lze usuzovat, že práce s jednoúchopovými harvestory je efektivnější a dopad na těžžený porost je menší (Ulrich et al. 2002).*

### **3.4 Konstrukce harvestoru**

Konstrukce harvestoru prošla v průběhu vývoje řadou změn a modifikací, rovněž v současnosti využívané stroje mají různá technická a konstrukční řešení. V rámci této disertační práce se bude vycházet z nejčastěji využívaného konceptu to znamená kolový, kolopásový nebo pásový harvestor jednoúchopový s předním nebo bočním výložníkem (obr.4.) Toto konstrukční řešení se jeví jako nejvhodnější zejména pro dobrou ovladatelnost, manipulovatelnost v terénu, dobré rozložení tlaků na půdu a velký dosah hydraulického jeřábu (Laurier et al., 2003).

Pro potřeby této disertační práce bude dále věnován prostor především konstrukci kabiny, rozmístění a funkci jednotlivých ovládacích a řídicích prvků, protože tyto se podílejí největší měrou na vytváření pracovního prostředí operátora. Další konstrukční prvky stroje (jako pohonná jednotka, brzdový systém apod.) budou v rámci této práce zmíněny jen okrajově a to především pro

vytvoření komplexního pohledu na problematiku ergatičnosti výroby, kterou ovlivňují více nebo méně všechny prvky stroje i fyzické a psychické vlastnosti operátora.



**Obr. 4.** Schéma konstrukce harvestoru - 1 - ráfek kola, 2 - přední rám, 3 - zadní rám, 4 – kolo  
5 - boogie náprava, 6 - těžební hlavice, 7 – rotátor, 8 - hydraulický jeřáb, 9 – upevňovací řetěz  
10- hydromotory, 11- osvětlení, 12- kabina, 13- kryt motoru, A – kloub řízení, (manuál Lesnická obchodní s.r.o.)

### 3.4.1 Podvozek

Podvozek harvestoru bývá nejčastěji kolový, kolopásový nebo pásový. Speciální konstrukci podvozku má například harvestor krácející. Na podvozku je namontován agregát pohonu dodávající buď hydraulický tlak, nebo krouticí moment, případně elektrickou energii pro pohon kol, ramene, těžební hlavice a dalších prvků stroje. V praxi se často používá varianta dieselového motoru zajišťující pohon hydrogenerátorů a funkci hydromotorů dodávajících hydraulický tlak do nezávisle řízených náhonů kol – hydropojezdu. Přenos hnací síly se děje pomocí hydrodynamické spojky, proto harvestor dosahuje vysoké síly v malých rychlostech. Na podvozku je usazen pohonný agregát dodávající hydraulický tlak do hydraulického jeřábu osazeného těžební hlavice a do pohonného systému kol, tzv. hydropojezdu. Kolový harvestor je vybaven čtyřmi, šesti nebo osmi koly,

v závislosti na velikosti stroje. Nejmenší výkonnostní třída čtyřkolový má dvě jednoduché nápravy. Silnější šestikolové stroje mají zadní motorovou část uloženou na klasické nápravě a přední část s výložníkem na tzv. boogie nápravě – tandemovém vozíku. Nejsilnější osmikolová varianta harvestoru má přední i zadní nápravy řešené tandemovými vozíky (Ulrich 1989).

### 3.4.2 Hydraulický jeřáb

Jeřáb umožňuje manipulaci s těžební hlavicí a následně s těžným kmenem, zároveň výrazně zvyšuje dosah stroje. Jeřáb je umístěn nejčastěji před kabinu (stroj s předním výložníkem) nebo vedle kabiny (stroj s bočním výložníkem) z důvodu výhledu operátora na celé pohybové pole jeřábu. U starších strojů nebo například u vyvážecích traktorů je jeřáb montován za kabinu (stroj se zadním výložníkem), v tom případě bývá sedačka operátora otočná o 180<sup>0</sup>. Další možností je umístění jeřábu na kabině, tento typ využívají stroje Valmet. Dle konstrukce lze podle Ulricha et al. (2002) jeřáby dělit na:

- jeřáb s hlavním výložníkem, zlamovacím a teleskopickým ramenem
- jeřáb se zlamovacím a teleskopickým výložníkem (Valmet)
- jeřáb s paralelně vedenými výložníkovými rameny.

Ulrich et al (2002) dále dělí jeřáby podle zvedacího momentu, tedy nosnosti, jeřábu:

- malé, zvedací moment cca 40 kNm
- střední, zvedací moment cca 100 kNm
- velké, zvedací moment cca 160 kNm.

Nosnost jeřábu je důležitou charakteristikou harvestoru, stroj by měl být vybaven jeřábem odpovídající nosnosti vzhledem k celkovému výkonu a druhu nasazení.

### 3.4.3 Těžební hlavice

Těžební hlavice je konstrukčně poměrně složitý prvek harvestoru. Společně s hydraulickým jeřábem se podle Dvořáka et al. (2006) podílí na následujících pracovních úkonech:

- sevření stromu,
- odříznutí stromu,
- otočení stromu do vodorovné polohy, případě vyproštění stromu ze závěsu do kolemstojících stromů,
- začelení stromu a případné vyzdravení kmene napadeného hnilobou,
- odvětvení,
- krácení (výroba sortimentů),
- změření a záznam vyrobených sortimentů,
- uložení sortimentů do hrání.

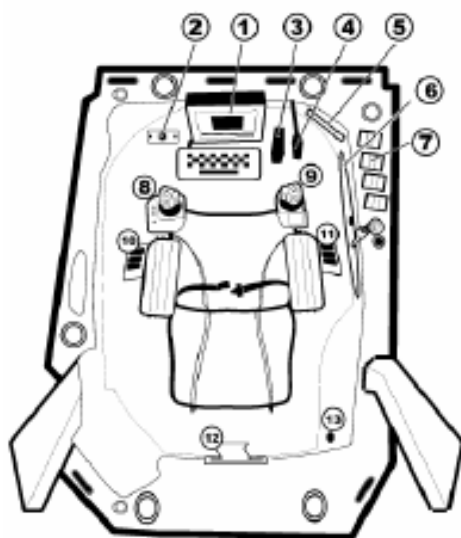
Hlavice je připojena na jeřáb pomocí dvou ložisek v rotoru, což umožňuje pohyb kolem osy i do stran. Posun kmene v hlavici zajišťují dva až čtyři podávací válce s nezávislým pohonem hydromotory. Odvětvení zajišťuje dvojice nebo čtveřice odvětovacích nožů, které bývají doplněny nepohyblivým nožem (kontranožem) na těle hlavice. Řezacím ústrojím hlavice je řetězová pila, která se pohybuje po oblouku. Její pohyb a pohyb řetězu zajišťují rovněž hydromotory. Měření délek se realizuje měřením impulsů pomocí ozubeného kolečka s přesností na 1 cm. Tloušťka kmene se měří dle výše napětí v senzorech (potenciometrech) s ohledem na sevření odvětovacích nožů. Interval pro měření tloušťky činí 10 cm.

### 3.4.4 Kabina

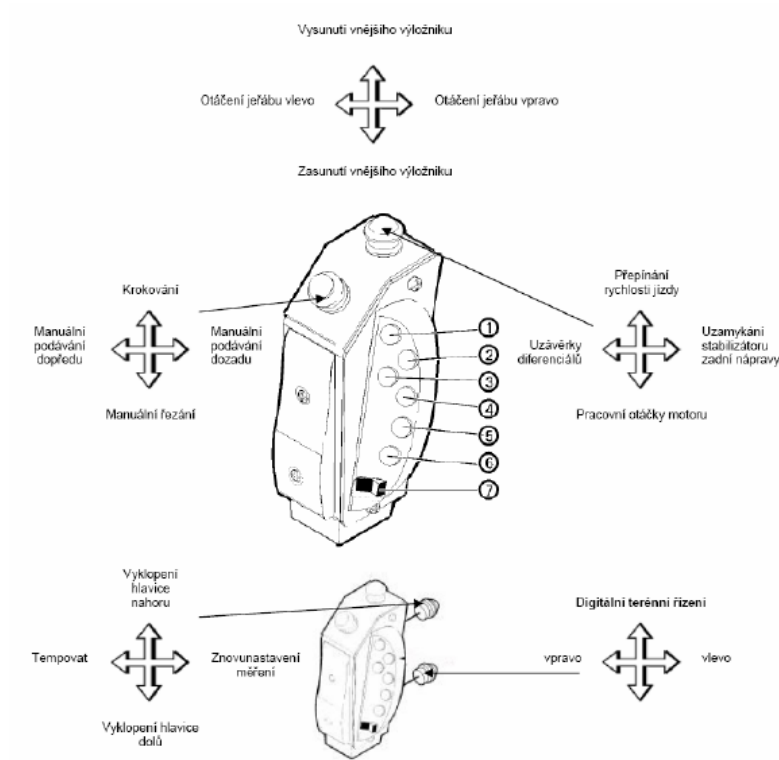
*Kabiny harvestoru splňují ergonomické podmínky a maximální hygienu*

a bezpečnost operátora při těžbě a zpracování stromů. Vše je zajišťováno konstrukcí kabiny, nivelováním kabiny, sedačkou, klimatizací a jinými technickými úpravami. Hluková hladina se pohybuje pod 75 dB (Dvořák, 2006).

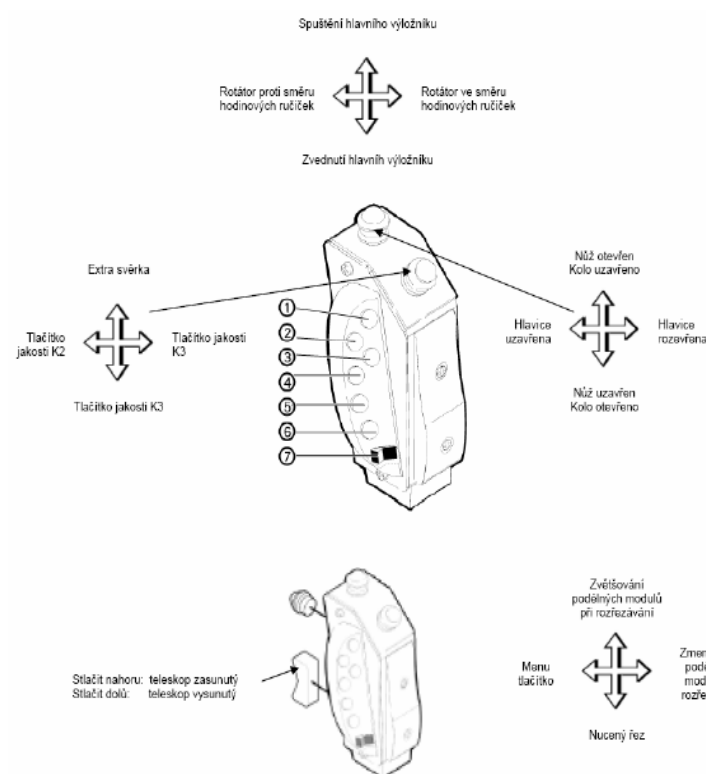
Kabina harvestoru silně ovlivňuje výrobní podmínky operátora, jeho výhled a rozhled po pracovišti, tepelnou pohodu, dostupnost všech řídicích prvků, správný sed atd. Rozmístění ovládacích prvků silně ovlivňuje efektivitu práce operátora. Moderní stroje jsou z hlediska ergonomie navrženy pro co nejpohodlnější a nejsnazší obsluhu (obr. 5 – 7).



**Obr. 5.** Interiér kabiny harvestoru - 1 – obrazovka, 2 – volič směru jízdy, 3 – brzdový pedál, 4 – jízdní pedál, 5 – rádio, 6 – pojistková skříň, 7 – přístrojová deska, 8 – levá ovládací páka, 9 – pravá ovládací páka, 10- přístrojová deska levá opěrka, 11- přístrojová deska pravá opěrka, 12- tiskárna, 13- vývod 12/24 V, (manuál Komatsu Forest)



**Obr. 6.** Levá ovládací páka - 1 – zavřít odvětv. nůž, 2 – auto. podávání a řez., 3 – man. vyrovnání kabiny, 4 – auto. vyrovnávání kabiny, 5 – rezerva, 6 – přepínání okna na display, 7 – rezerva (manuál Komatsu Forest)



**Obr. 7.** Pravá ovládací páka - 1 – standart nastavení borovice, 2 – standart nastavení jedle, 3 – silné větve, 4 – první listnáč, 5 – druhý listnáč, 6 – přerušovaný stěrač, 7 – extra otáčky (manuál Komatsu Forest)



Z obrázků 5 a 6 je patrné, že ovládání obou pák je poměrně složité a vyžaduje značnou míru cviku. Podle některých autorů trvá plné zacvičení operátora 2 roky (Ulrich et al., 2002).

### **3.5 Výhody harvestorové technologie**

Harvestory mají celou řadu výhod, což způsobilo velmi rychlý nárůst jejich počtu v posledních letech. Ulrich et al. (2002), podobně jako Han et al. (2000) považuje za hlavní výhody harvestorové technologie:

- velkou ekologickou čistotu práce,
- vysokou produktivitu práce,
- nízké náklady v přepočtu na sortiment,
- ergatičnost systému,
- vysoká bezpečnost práce,
- možnost pracovat za zhoršeného počasí.

Dvořák (2004) vymezuje jako výhody HT:

- úsporu pracovních sil,
- přesnou registraci odvedené výkonnosti uloženou v palubním počítači stroje, umožňující lepší přehled o vykonané práci a její odměňování,
- vysokou hygienu práce a její bezpečnost,
- rychlou reakci na změnu požadavků odběratele při sortimentaci,
- zachování čistoty dřevní suroviny, protože dříví je převáženo a není taženo po zemi,
- omezení škod na lesních dřevinách a půdním povrch,
- vysoká bezpečnost práce.

### **3.6 Nevýhody harvestorové technologie**

Přes neustálé zdokonalování technologie lze vyjmenovat několik nevýhod HT. Dvořák (2004) vymezuje tyto hlavní nevýhody:

- náročná organizace práce pro nepřetržitý provoz stroje a zajištění návratnosti vložených investic,
- vysoké pořizovací ceny stroje, nákladné opravy poruch spojené s čekacími lhůtami na náhradní díly, což vede k prostojům strojů,
- dlouhodobé a nákladné zaškolování operátorů,
- náročnost na technické obory, na operátory a technicko-hospodářské pracovníky.

Moravec (2004) odhadl pořizovací cenu jednoho harvestorového uzlu společně s náklady na školení operátorů na 20 mil. Kč. Dále uvádí, že délka školení obsluhy MP je zhruba 15 dní, oproti 3 měsícům a dalším dvěma letem pro úplné zaškolení operátora harvestoru, jak uvedl Ulrich et al. (2002).

Za nevýhodu HT lze rovněž považovat jeho velkou hmotnost a rozměry a interakci na půdní podklad a s tím spojené riziko zhutnění a eroze půdy. Ovšem Horn et al. (2007) dokazuje, že při využití nízkotlakých pneumatik (Terra) dochází k menším měrným tlakům na půdu než při využití UKT nebo například při přibližování dříví koněm, který má vzhledem ke své váze relativně malou plochu kopyt.

Čistotě práce, zhutňování a erozi půdy bude věnována samostatná kapitola, protože tyto ukazatele se významně podílí na celkové efektivitě HT.

## 3.7 Efektivita harvestorové technologie

Efektivita harvestorové technologie je jedním z nejdůležitějších kritérií při používání technologie jako takové. Z pohledu ekonomiky provozu je efektivita kritériem nejdůležitějším.

### 3.7.1 Vymezení pojmu efektivita v rámci této disertační práce

Efektivita práce HT je problematika často diskutovaná, je jí věnována celá řada odborných i popularizačních publikací. Vzhledem k vysokým pořizovacím a provozním nákladům HT je výrobci i provozovateli pečlivě sledována efektivita především ve směru rychlosti výroby a s tím spojeným zpeněžením.

Je ovšem zcela zřejmé, že pro posouzení efektivity jakékoliv technologie nebo pracovního úkonu je třeba vycházet z komplexního pohledu na danou problematiku. Ekonomická efektivita je věcí jednou, ovšem není možné opomíjet čistotu práce, pracovní pohodu bezpečnost obsluhy atd. Jedině komplexním pohledem je možné posuzovat skutečnou efektivitu HT.

V rámci této disertační práce bude na efektivitu práce HT nahlíženo z několika významných hledisek a to:

- ekonomická efektivita (náklady, výkonnost v metrech krychlových dříví, úspora paliva a další),
- ekologická čistota práce (zhutnění a eroze půdy, poškození okolostojících porostů a další),
- ergonomie a hygiena práce (pracovní prostředí, pracovní stres, nemoci z povolání a další),
- vliv na mimoprodukční funkce lesa (ovlivnění vzhledu porostů, veřejné mínění a další).

### 3.7.2 Ekonomická efektivita

Ekonomická efektivita je nejčastěji využívaným kritériem pro posuzování vhodnosti HT jako takové. Je to způsobeno především velkým tlakem ze strany provozovatelů, kteří očekávají co nejrychlejší návratnost investic. Na rozdíl od vlivu HT na společenskou funkci lesa je možné přesně vyčíslit jednotlivé položky.

Hlavním kritériem ekonomické efektivity je výkonnost technologie. Této problematice je věnována celá řada publikací. Většina autorů (např.: Akay et al., 2004; Evanson, McConchie, 1996; Gingrass, 2004; Kellog, Pettinger, 1994; McNeel, Ruthenford, 1994; Nurminen et al., 2006), se shodují, že výkonnost HT ovlivňují především následující faktory:

- druh těžby (úmyslná předmýtní, úmyslná mýtní, nahodilá),
- druh dřeviny a porostní charakteristiky (věk, zakmenění, hmotnatost),
- vlastnosti terénu (sklon, průchodnost, únosnost půdy),
- počet a druh vyráběných sortimentů,

dále:

- příprava pracoviště před těžbou (linky, plán prací),
- vzdálenost (zejména u vyvážecího traktoru vzdálenost mezi OM a lokalitou P),
- stáří a stav stroje,
- praxe operátora.

Dvořák (2004) dokládá podrobný souhrn podmínek přímo ovlivňujících výkonnost HT a dále je dělí do čtyř následujících skupin:

#### Technické parametry těžebních a dopravních strojů

- dosah hydromanipulátorů pro stanovení šíře pracovního pole a únosnost hydromanipulátoru
- celková hmotnost stroje a její rozložení s ohledem k únosnosti půdního podkladu

- úřeznost stroje, která je podmíněna technickými a metrickými vlastnostmi dřeviny
- metrické rozměry stroje pro stanovení šíře linek a poloměru otáčení

#### Technologický a pracovní postup

- druh těžby a těžební metody
- síla zásahu
- délka a šířka vyvážecích linek
- průměrná vyvážecí vzdálenost

#### Přírodní podmínky

- sklonitost terénu pro vytyčení směru vyvážecích linek
- únosnost terénu pro neomezenou nebo časově omezenou možnost nasazení strojů
- průjezdnost daná překážkami v terénu a jejich rozestupem

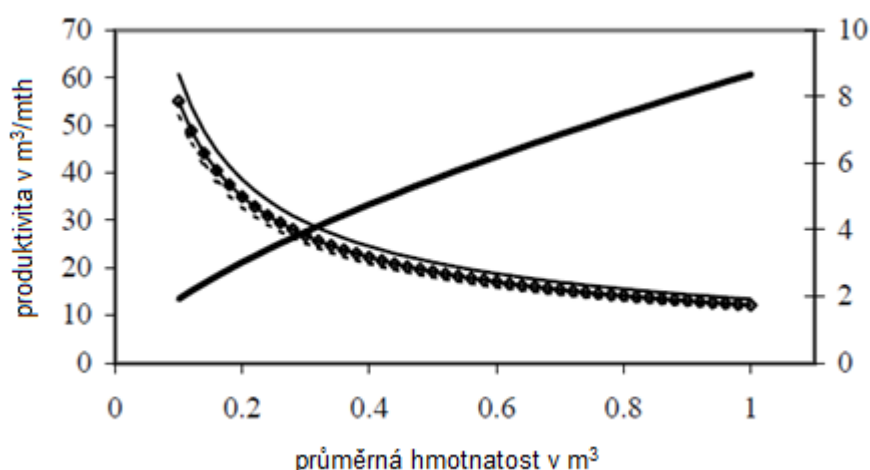
#### Technické vlastnosti stromů a porostu

- maximální hmotnost těžných stromů a maximální tloušťky stromů u paty, kterým je podmíněna úřeznost těžební hlavice
- střední výška stromu
- tvar a větevnatost stromu
- vyvinutí kořenových náběhů
- tloušťka kůry
- zdravotní stav stromu
- zakmenění porostu

Výkonnost technologie určuje ekonomickou efektivitu HT, protože podle současného systému odměňování je v naprosté většině případů provozovatel odměněn za množství vytěženého dříví. Je tedy pochopitelnou snahou všech provozovatelů dosáhnout maximální možné výkonnosti. Jak již bylo uvedeno, zejména ekonomický tlak na vlastníky lesa a provozovatele HT, způsobuje, že jsou stroje nasazovány ne vždy do ideálních podmínek, často i do podmínek pro danou technologii nevhodných, z čehož plyne mimo jiné snížení pracovní výkonnosti. Skutečnou výkonnost lze zjistit pouze empiricky přímými měřeními v daných podmínkách.

Zjištění výkonnosti se provádí nejčastěji měřením množství vytěženého dříví v plnometrech za určitou jednotku času, nejčastěji za hodinu, pracovní směnu, nebo rok (Heinimann, 2001; Golyakevich, Goronovski, 2012), přičemž se přihlíží k daným stanovištním podmínkám.

Podle Huyler, LeDoux (1999) výkonnost HT nejvíce ovlivňuje hmotnatost těžených stromů, přičemž čas na zpracování jednoho stromu je statisticky nerozdílný a tím pádem výkonnost se zvyšuje lineárně se zvyšováním hmotnatosti a naopak. K podobnému závěru dochází i Jiroušek et al. (2007), LeDoux a Huyler (2001), Nakagawa et al. (1993), Ovaskainen et al. (2004), Puttock et al. (2005), (graf 1). Speciálním případem vlivu hmotnatosti na výkonnost HT je vliv potlačených stromových jedinců v jinak stejnoměrně vzrostlém porostu, Kárhä (2006) prokazuje statisticky významné snížení výkonnosti, pokud porost vykazuje statisticky významný podíl potlačených stromů.



**Graf 1.** Závislost výkonnosti HT na průměrné hmotnatosti - plná čára – výkonnost, bodová čára – cena dříví za m<sup>3</sup>, (Jiroušek et al., 2007)

Druh těžby také výrazně ovlivňuje výkonnost HT, přičemž je podle něj výkonnost výrazně vyšší v mýtných těžbách plánovaných, což lze vysvětlit jednak větší průměrnou hmotností stromů než v předmýtních těžbách a jednak větším počtem stromů pokácených z jednoho pracovního postavení stroje (Lageson,

1997). K podobným závěrům dochází i Stampfer (1999), který navíc posuzuje i vliv terénních podmínek na výkonnost HT. „*Kolové harvestory mohou zvládnout terény po spádnicí (podélný sklon) do sklonu 35 - 45 (50) % podle stavu povrchu, nad 45% přichází v úvahu kolopásová, pásová a kráčejší varianta podvozku* (Ulrich et. al., 2002).“ Stampfer a Steinmuller (2001) uvádějí, že při využití speciálních pásových harvesterů konstruovaných do terénů o vysokém sklonu, lze realizovat těžbu až do sklonů okolo 60 %.

Rovněž záleží na metodě kácení stromů, jak dokazuje Glöde a Sixtröm (2001), při sortimentní CTL metodě s ukládáním výřezů bokem k lince byla výkonnost v daných podmínkách  $27,4\text{m}^3/\text{mth}$ , při metodě „tosing the caber“ (po pokácení se celý strom přenesse do linky, kde probíhá zpracování), byla zjištěna výkonnost nižší ( $26,1\text{ m}^3/\text{mth}$ ). Při druhé metodě ovšem došlo k prokazatelně menšímu poškození přirozeného zmlazení na stanovišti.

Je zřejmé, že výkonnost HT ovlivňuje celá řada vnějších i vnitřních faktorů. Cílem výrobců a uživatelů HT i vlastníků lesa je najít co nejvhodnější metodu z pohledu výběru strojů, vhodných terénních podmínek, vhodného času pro těžební zásah apod. Ideálním stavem je, když všechny podmínky jsou ve shodě, tento bod byl Visserem et al. (2009) definován jako „sweet pot“ a v tomto bodě dosahuje HT nejvyšší výkonnosti.

V každém případě je výkonnost HT velmi variabilní, pohybuje se v rozmezí  $13,5 - 60,5\text{ m}^3/\text{mth}$  (Jiroušek et al., 2007) v závislosti především na průměrné hmotnosti těžených stromů.

Z hlediska posouzení ekonomické efektivity HT navazuje na hodnocení výkonnosti cena technologie, která se skládá z množství dílčích položek. Především se jedná o pořizovací cenu stroje, roční odpisy vztahované k životnosti stroje, náklady na údržbu a opravy, náklady na paliva a maziva, plat operátora (Jiroušek et al., 2007; Nurminen et al., 2009). Kvůli silně diverzifikované základně pro výpočet ceny a častým výkyvům v hodnotách jednotlivých položek (změny ceny nafty, kurz zahraničních měn apod.) není možné zcela přesně stanovit univerzální cenu zařízení a jeho provozu, jedná se o hodnoty odvozené od empirického výzkumu v daných podmínkách a daném čase, které slouží pro

přibližnou predikaci ceny ve zkoumaných podmínkách. Přesné ceny lze ovšem kalkulovat až po realizaci těžby v daných podmínkách. Nurminen et al. (2009) uvádí generalizovanou cenu práce harvestoru v daných podmínkách (mytní těžba a stroj nejvyšší výkonnostní třídy) na **84,15 EUR/h**. Při přepočtu na plometr vytěženého dříví pak připadá **4,11 EUR/m<sup>3</sup>** dříví. Připočítáním komplexních nákladů vyvážecího traktoru byla stanovena nákladová cena na metr krychlový dříví od pokácení až k OM na 7,21 EUR pro dané podmínky a daný typ těžebního zásahu. S čímž se v podstatě shoduje i Puttock et al. (2005), který uvádí nákladovou cenu na 1m<sup>3</sup> vytěženého dříví 10 USD.

Jiroušek et al. (2007) uvádí hodnoty velmi podobné, konkrétně 87,62 EUR/h pro mytní těžbu harvestorem nejvyšší výkonnostní třídy. Autor dále uvádí cenu jedné motohodiny, se kterou Nurminen et al. (2009) nepočítá. Ceny uvedené Jiroušek et al. (2007) jsou uvedeny v tabulce č. 3:

**Tab. 3.** Kompletní cena HT v EUR/h, respektive v EUR/mth (Jiroušek et al., 2009)

druh stroje	harvestor			vyvážecí traktor		
výkonnostní třída	malý	střední	velký	malý	střední	velký
cena (EUR/h)	74,76	79,35	87,62	47,87	53,17	60,30
cena (EUR/mth)	99,69	105,79	116,83	63,82	70,90	80,40

Do výpočtů ekonomické efektivity HT je nutné započítat i finanční ztráty způsobené podhodnocením stromových veličin v důsledku prokluzu měřících koleček. Marshall et al. (2006) vyčísluje takovéto ztráty v rozmezí 3 – 23 %. Konstrukce měřícího aparátu moderních strojů tyto ztráty minimalizuje, stejně tak jako pravidelná kalibrace.

### 3.7.3 Ekologická čistota práce

Je zřejmé, že čistota práce je vedle ekonomické efektivity velmi důležitým



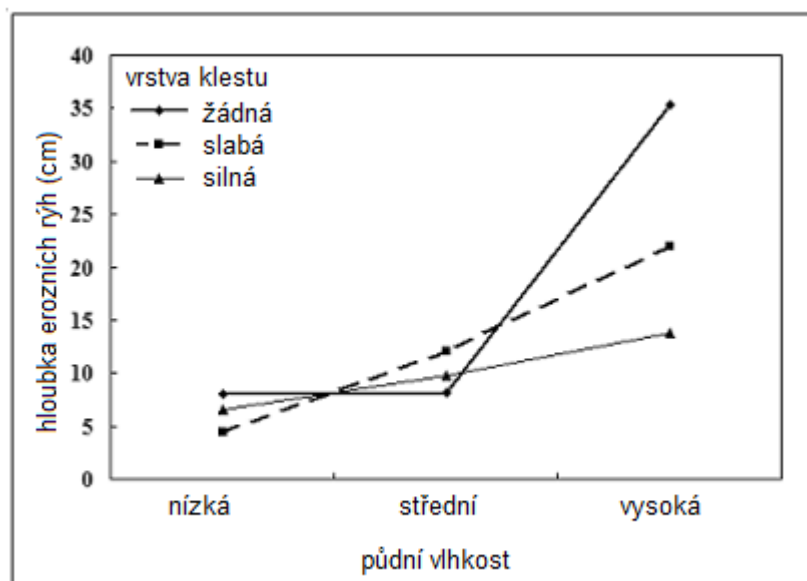
faktorem pro posuzování vhodnosti nasazení HT. V praxi se sice často tento faktor upozaduje ve prospěch maximalizace zisku, nicméně v rámci této disertační práce jej není možné opomenout. HT, stejně jako každá těžebně dopravní technologie působí na prostředí, v němž se pohybuje. Velká hmotnost strojů, i když částečně kompenzovaná nízkotlakými pneumatikami, způsobuje zhutňování půdy a erozní rýhy v místě průjezdu strojů. Poměrně velké rozměry strojů (šířka přes 3 metry, výška nezřídka 4 - 5 metrů) vyžaduje odpovídající rozměry cest a linek v rámci lesní dopravní sítě (LDS). Stroj při průjezdu porostem i při těžbě a manipulaci s kmeny způsobuje poškození okolostojících stromů oděrem. Diesellový agregát vypouští do ovzduší zplodiny, netěsnosti ve vedení hydraulického oleje a dalších provozních kapalin mohou uvolňovat do prostředí oleje a jiné nežádoucí látky. Snahou konstruktérů je minimalizovat tyto negativní vlivy techniky na životní prostředí. Zcela zásadní je v tomto ohledu odpovídající přístup obsluhy stroje, pravidelné kontroly technického stavu a také dodržování technologického postupu.

Při těžbě dříví dochází v porostu ke změnám jednak přímo souvisejícím s realizací těžby (zhutnění půdy, oděr okolostojících stromů) ale také ke změnám souvisejícím s těžbou nepřímo (změna světelného režimu, okyselení půdy hromaděním potěžebních zbytků). Tyto změny často způsobují změnu skladby rostlinného parta, často bohužel ve prospěch *Calamagrostis arundinacea* a *Rubus fruticosus*, což nepříznivě ovlivňuje přirozenou obnovu i zalesňování. (Deconchat a Balent, 2001).

Z hlediska zhutnění půdy hraje významnou roli zejména únosnost půdy (rezistence proti zhutnění) a také počet průjezdů strojů. Například Allen (1998) uvádí, že počet průjezdů po hlavních linkách při realizaci probírky je často více než 40 průjezdů a po linkách vedlejších až 30 průjezdů. S ohledem na hmotnost stroje přesahující často, zejména u plně naloženého vyvážecího traktoru, 20 tun, je zřejmý vliv na zhutnění půdy i na její erozi. Armlovich (1995) popisuje zhutnění půdy o 20 % při čtyřech a méně přejezdech stroje a o 28,6 % při více než třiceti přejezdech.

Z hlediska zhutnění půdy i půdní eroze hraje významnou roli vlhkost půdy, přičemž z rostoucí vlhkostí klesá odolnost půdy proti kompakci i erozi. Atanasiadis (1997) uvádí velký nárůst zejména půdní eroze při velkém nasycení

půdy vodou. Přičemž zásadní roli hraje přítomnost klestu a síla jeho vrstvy v místě kontaktu pneumatik s půdou (obr. 8).



**Obr. 8.** Vliv zavodnění půdy a tloušťka vrstvy klestu na hloubku erozních rýh (Han et al., 2006)

Ke snížení míry zhutnění půdy a půdní eroze při průjezdech HT značnou měrou přispívá ukládání klestu na linku. Operátor harvestoru by podle možnosti měl provádět operaci odvětvení kmenu před strojem tak, aby uvolněný klest pokryl pokud možno rovnoměrně prostor pohybu harvestoru i vyvážecího traktoru. Jak uvádí Han et al. (2006), vrstva klestu průkazně snižuje vznik erozních rýh i zhutnění půdy, což Han (2006) potvrzuje dalšími měřeními. Vliv na vznik erozních rýh má kromě únosnosti terénu, vlhkosti a vrstvy klestu také sklon terénu. Han et al. (2009) uvádí nejmenší vznik erozních rýh do při sklonu do 15 %.

Co se týče vlivu vrstvy klestu na zhutnění půdy, uvádí McDonald a Seixas (2007), že statisticky prokazatelný vliv na zmenšení zhutnění půdy při opakovaných průjezdech HT má pouze silná vrstva klestu ( $20 \text{ kg/m}^2$ ). Slabší vrstva klestu ( $10 \text{ kg/m}^2$ ) nezpůsobuje statisticky prokazatelné snížení kompakce půdy.

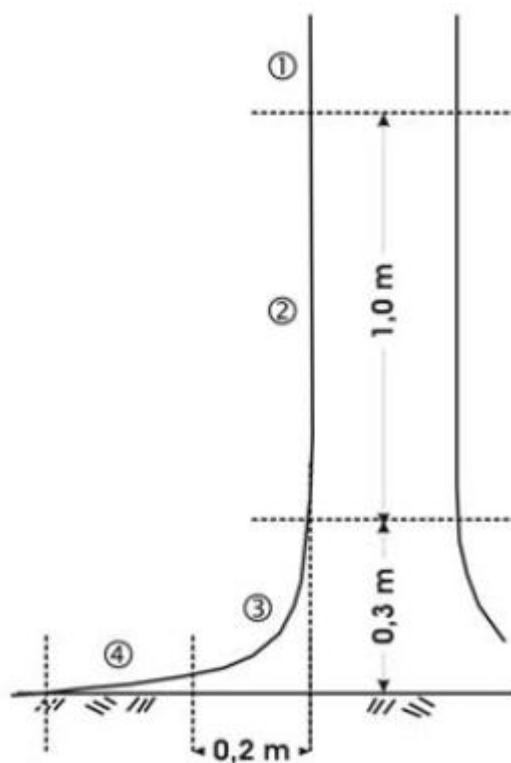
Za velice důležitý faktor ovlivňující jak celkovou tak ekonomickou čistotu práce HT je míra poškození okolostojících stromů. HT je z tohoto hlediska poměrně šetrná a to jednak proto, že nízkotlaké pneumatiky Terra nezpůsobují tak výrazná poranění kořenů a náběhů stromů, jako například univerzální kolový

traktor a jednak proto, že manipulace s kmeny se děje pomocí relativně silné a výkonné kácecí hlavice a jeřábu, takže nedochází tak často k poraněním z důvodu odření stojících kmenů při manipulaci s pokácenými stromy.

Han a Kellogg (2000) uvádí, že 90 % poranění stojících stromů bylo odřením v oblasti kmene. Autoři dále uvádějí, že z celkového počtu škod zjištěných v rámci experimentu bylo 70 % způsobeno harvestorem a 30 % vyvážecím traktorem.

Z hlediska posuzování škod na stojících stromech je důležité rozlišit jednotlivé části stromu. V této disertační práci se vychází z klasifikace částí stromu při posuzování škod podle Menga (1978), (obr. 9). Přičemž podle dané klasifikace uvádí Limbeck (2003), že největší podíl škod představuje v letním období shodně horní část kmene a kořen a v zimním období výrazně převládá poškození vrchní části kmene. Velká míra poškození horní části kmene se dá vysvětlit faktem, že při pádu pokáceného stromu dochází velmi často k oděru okolostojících stromů. Velké zatížení kořenů a náběhů způsobené častými průjezdy strojů je v zimě pravděpodobně velmi omezeno vrstvou sněhu.

Významnou roli při posuzování ekologické čistoty práce HT hraje i spotřeba paliva. Při spalování nafty dochází k uvolňování látek znečišťujících prostředí, rovněž při těžbě ropy a výrobě nafty průmyslovou rafinací dochází k uvolňování látek pro životní prostředí nežádoucích. Je tedy zřejmé, že snaha o maximální snížení spotřeby paliva má kromě pozitivního ekonomického dopadu i vliv na ochranu životního prostředí. Zřejmě nejlepší výsledky ve snižování spotřeby nafty vykazuje dobré předtěžební plánování, které má za výsledek i zvýšení efektivity výroby. Dalšími možnostmi jsou například odstranění buřene v místě realizace těžby a tím snížení odporu terénu vůči pneumatikám (Bolding, Lanford, 2000 a Bolding et al., 2003), nebo využití lanovkového systému k dopravě dříví vytěženého harvestorem (Drews et al., 2001). Stále častěji se k snížení spotřeby nafty a ke zvýšení efektivity výroby používají software ve spolupráci s GPS, jak uvádí například Fight et al. (2006), které pomocí výpočtů ze souřadnic navrhnou operátorovi optimální trasy průjezdu porostem. Tyto systémy se velmi dobře osvědčily v zemědělství, otázkou je, zda složitost terénních podmínek v lese umožní ve větší míře rozvoj těchto programů v HT.



**Obr. 9.** Rozdělení stromových partií podle Menga (1978), 1 – horní část kmene, koruna, 2 – spodní část kmene, 3 – kořenový náběh, 4 – kořen

V rámci posuzování ekologické čistoty práce HT je namístě zmínit i vliv odebrání biomasy ze stanoviště v rámci těžby a manipulace. Této problematice se věnují například Plamondon (1982) nebo Rotaru (1985). Daná problematika se ovšem týká všech způsobů těžby dříví a proto nebude v rámci této disertační práce dále rozebírána.

### 3.7.4 Ergonomie a hygiena práce HT

HT je bezpochyby technologií velmi pokročilou i z hlediska ergonomie, hygieny práce a pracovní pohody obsluhy. Operátor tráví většinu pracovní směny v kabině stroje, která je uzpůsobena tak, aby poskytovala maximální komfort, bezpečnost i efektivitu obsluhy. Terénní nerovnosti a sklon svahu až do 40 %

vyrovnává nivelace kabiny (Dvořák et al., 2006). Kabina moderních strojů je přetlaková, aby byla minimalizována prašnost a tepelné ztráty, zároveň tlumí hluk z motorové části i hluk prostředí. Tepelnou pohodu operátora zajišťuje klimatizace. Sedačka je polstrovaná, tvarovaná a bývá vyhřívaná, její polohovatelnost je samozřejmostí. Velmi důležitý z hlediska ergonomie je výhled z kabiny, ten je umožněn velkými okny vpředu na bocích i na zadní části kabiny a může být až v rozsahu 360°. Pro co možná nejlepší výhled a pracovní pohodu obsluhy může být kabina otočná (například u Rottne H20).

### *Bezpečnost práce*

Bezpečnost práce je v moderní společnosti jedním z hlavních kritérií jakékoliv lidské pracovní činnosti. Existuje celá řada národních i nadnárodních institucí sledujících bezpečnost práce ve všech výrobních odvětvích včetně lesního hospodářství. Za jednu z největších organizací zabývajících se řadu let bezpečností práce mimo jiné i při výrobě HT je Americká organizace NIOSH (Landrigan, 1989). V souladu se směrnicí „The Global Burden of Disease Project“ je evidováno ročně v celosvětovém průměru 100 milionů pracovních úrazů, z nichž přibližně 100 tisíc končí smrtí pracovníka. Přibližně u 11 milionů pracovníků ročně se objeví nemoc z povolání, která v 700 tisících případech končí smrtí (Leigh et. al., 1999). Z výše uvedeného je patrné, že zájem na zvyšování bezpečnosti práce má celosvětový rozměr a vysokou prioritu. HT je z hlediska bezpečnosti práce na velmi dobré úrovni, čehož důkazem je skutečnost, že za dobu využívání této technologie u nás došlo pouze k jednomu úmrtí operátora. Operátora chrání celá řada mechanických i elektronických bezpečnostních prvků. Ve srovnání například s motomanuální těžbou se jedná o práci relativně velmi bezpečnou, samozřejmě za předpokladu dodržení výrobního postupu a pravidel bezpečnosti práce. Dvořák et al. (2006) uvádí následující pokyny pro bezpečnou obsluhu HT:

- *Nikdo nesmí stát v dosahu jeřábu nebo těžební hlavice. Bezpečnostní zónou jsou dvě výšky stromu, není-li výrobcem stanovena vyšší vzdálenost.*
- *Nikdo se nesmí zdržovat na stroji, jestliže je v chodu. Jestliže je přece jiná osoba v kabině, např. za účelem vzdělávání, musí tato osoba stát za sedačkou řidiče.*

- *Stroj je obsluhován jen ze sedačky řidiče.*
- *Dveře jsou před jízdou zavírány a v kabině se používá bezpečnostní pás.*
- *Operátor kontroluje, zda stroj stojí ve stabilní poloze, dříve než začne pracovat s jeřábem i během práce s ním.*
- *Žádné nářadí, náhradní díly nebo volné komponenty se nesmí ukládat na podlahu kabiny.*
- *Boční kryty musí být na obou stranách motoru uzavřeny, jestliže je motor v chodu.*
- *Jestliže padá strom, řidič sleduje směr větru a naklápění stromu.*
- *Operátor nikdy neopouští naříznutý strom a nevychází z kabiny dříve, než strom padne na zem.*
- *Při těžbě velkých stromů se uvolňuje hlavice od paty, když strom padá.*
- *Při opouštění stroje vypnout motor.*
- *Při odchodu od stroje položit těžební hlavici na zem v horizontální poloze nebo ji fixovat do transportní polohy. Jestliže není konec jeřábu podepřen, může bez předběžné výstrahy spadnout, pokud klesne hydraulický tlak.*
- *Při delší přestávce vypínat spínač hlavního proudu a klíč ze spínače hlavního proudu vytahovat.*
- *Motor nenechávat v chodu, pokud se vychází z kabiny, aby se vyměnila lišta nebo řetěz. Zajistit vše tak, aby těžební hlavice bezpečně stála a nože a posuvné válce byly zavřeny.*

#### *Jízda v terénu*

- *Při překlápění stroje se pevně držet. Nevyskakovat z kabiny.*
- *Udržovat dostatečný odstup k mostům, budovám, vysokonapětovému vedení atd.*

#### *Jízda na silnicích*

- *Kontrolovat osvětlení a bezpečnostní vývěsní tabule a štíty pro pomalu se pohybující stroj.*
- *Pásky a řetězy není povoleno používat při jízdě po silnicích.*
- *Těžební hlavice musí být zavěšena v transportních řetězech, aby se zabránilo pohybu jeřábu a těžební hlavice.*
- *Při transportu na trajleru stroj pevně sepnout a zabránit pohybu jeřábu.*

- Seznámit se s aktuálními dopravními předpisy

#### *Bezpečnost při servisu a opravě*

- *Stroj by se měl denně kontrolovat, aby se garantovala bezpečnost. Údržbu provádět pravidelně podle instrukcí výrobce.*
- *Motor musí být při opravách a údržbách vypnut. Brzdy musí být aktivovány a hydraulika nesmí být pod tlakem.*
- *Dříve než se vystoupí z kabiny k opravě hlavice, musí být agregát uložen do horizontální polohy na zem, aby byl konec jeřábu stabilně podepřen.*
- *Při kontrolách a pracích na palivové nádrži a na baterii je přísně zakázáno zapalovat oheň nebo kouřit.*
- *Údržbářské práce provádět pravidelně a podle instrukcí výrobce.*
- *Jestliže se těžební hlavice při těžbě poškodí, musí se převézt na bezpečné místo.*
- *Nezačínat s opravou v blízkosti naříznutého stromu nebo v těžební zóně.*
- *Neprovádějte nikdy údržbu a opravu v pracovní zóně pily nebo odvětvovacích nožů a posuvných válců, pokud běží motor.*
- *Ukládat starý olej a posílat ho na sběrná místa pro oleje.*
- *Používat pilové řetězy a lišty, které doporučil výrobce.*
- *Dodržovat bezpečnostní předpisy jeřábu, které jsou v manuálu jeřábu a bezpečnostními předpisy k přídatným zařízením.*

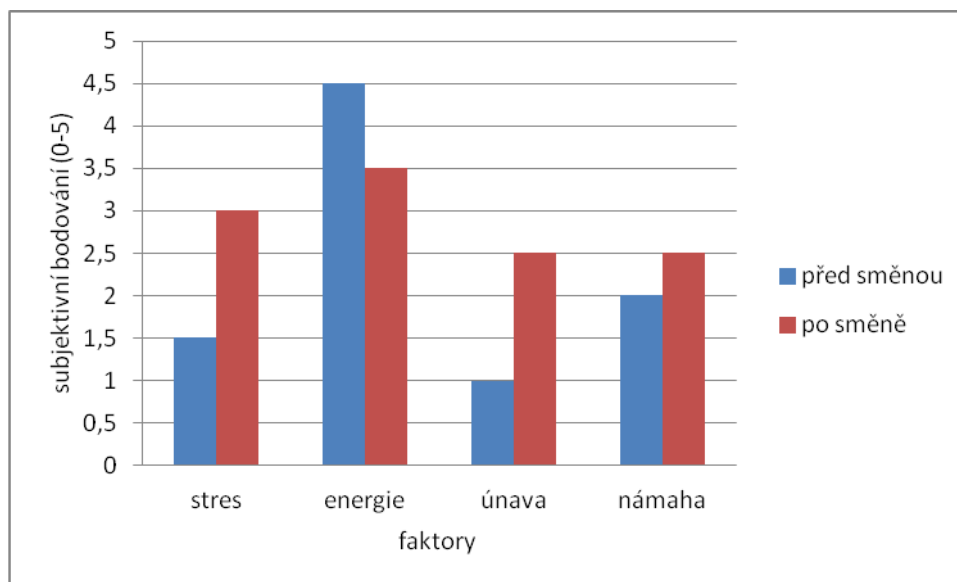
#### *Stres na pracovišti*

*“Stres je vzorec emocionálních, kognitivních, behaviorálních a fyziologických reakcí na nepříznivé a škodlivé aspekty obsahu práce, organizace práce a pracovního prostředí. Stres je způsobován špatným souladem mezi člověkem a prací, konflikty mezi rolemi v práci a mimo ni a nedostatkem rozumné míry kontroly nad prací a vlastním životem. Špatný soulad lze upřesnit: lze říci, že stres je pociťován tehdy, přesahují-li požadavky pracovního prostředí možnosti zaměstnance je zvládnout (nebo je kontrolovat). Tato definice zaměřuje pozornost na pracovní příčiny a požadovaná opatření.” (Hladký, 2005).*

*Každý člověk je neustále vystaven stresu, ať už se jedná o pracovní nebo rodinné problémy, nebo o stres tepelný či světelný. Vosahlik (2009) uvádí,*

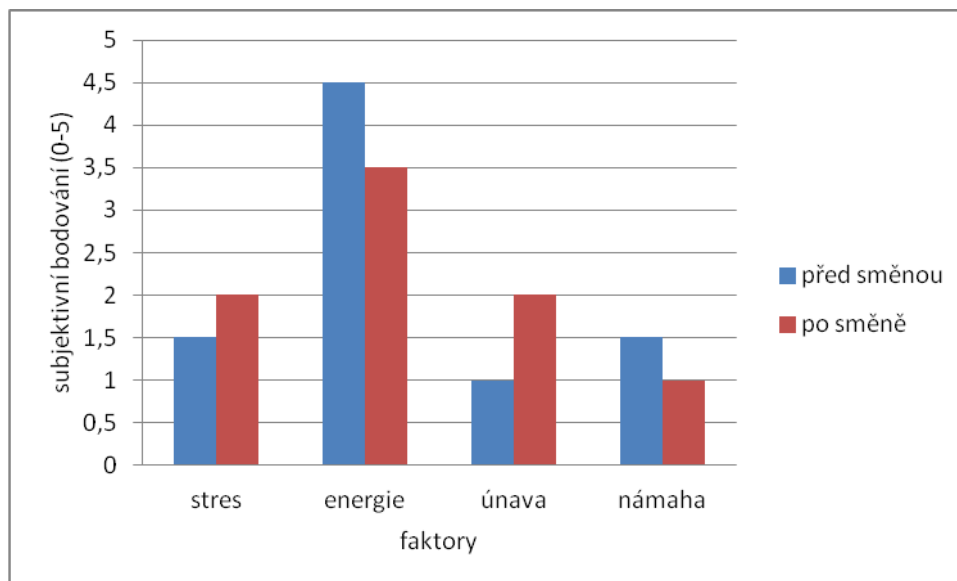
že určitá míra stresu není na škodu, naopak zvyšuje soustředění a výkon. Pokud hladina stresu překročí určitou hranici buď skokově, nebo dlouhodobě, může stres způsobit trvalé následky psychické i fyzické (Tomsikova, 2007). Zvýšená míra stresu se v první fázi projevuje bolestmi hlavy a častou únavou a tím i sníženou výkonností.

V prostředí HT je operátor vystaven mnoha stresorům. Jedná se především o tlak ze strany provozovatele strojů, který požaduje vysokou pracovní výkonnost často bez ohledu na zhoršené pracovní podmínky; zodpovědnost za stroj v hodnotě několika milionů korun; nepravidelná pracovní doba; zhoršené světelné podmínky v lesním prostředí; dlouhý posez v sedačce a fixování rukou na opěradlech ovládacích pák, to vše způsobuje stálý tlak a tím i stres, na operátora. V souvislosti se stálou hladinou stresu při práci se projevuje silněji únava v průběhu pracovní směny (graf 2 a 3) a také se zvyšuje riziko pracovního úrazu. Jak uvádí Sullman (1997), práce v HT a to především v harvestoru, je psychicky náročná a způsobuje stres. Ke zlepšení pracovního prostředí a tím i k optimalizaci výroby mohou přispět například krátké výrobní přestávky spojené s aktivními relaxačními cvičeními.



**Graf 2.** Subjektivní pocit stresu, energie, únavy a námahy operátora harvestoru před a po směně (Sullman, 1997)





**Graf 3.** Subjektivní pocit stresu, energie, únavy a námahy operátora vyvážecího traktoru před a po směně (Sullman, 1997)

Gellerstedt (1997) uvádí, že práce operátorů HT je fyzicky i psychicky náročná především kvůli vysoké náročnosti ovládní stroje a nutnosti neustálé pozornosti při manipulaci s hydraulickým jeřábem a při manévrování v lesním prostředí. Autor dále uvádí, že nejvyšší pracovní nadšení vykazuje operátor od 14 do 18 hodin, což se ovšem shoduje i s dobou nejvyššího pracovního stresu a následné únavy. Autor doporučuje časté střídání pracovních směn, které by mělo napomoci k lepším pracovním výsledkům i pracovní pohodě operátora. Na druhou stranu Nayantarra et al. (2005) a Mitchell et al. (2008) se shodují, že nepravidelná pracovní doba a střídání pracovních směn způsobují velkou zátěž na zdraví a psychiku operátora. Axxelson (1998) uvádí, že zhruba 50 % operátorů HT vykazuje symptomy trvalého stresu. Gellerstedt (2002) popisuje obsluhu harvestoru jako náročnou zejména z hlediska kognitivního a z hlediska jemné motoriky při ovládní stroje.

### *Fyzická zátěž*

Práce v lesním prostředí je obecně velmi fyzicky náročná. S velkou fyzickou náročností souvisí i vysoké riziko poruch páteře, svalů zad, ramen apod. Gallis (2006) uvádí, že 17,9 % pracovníků v lese bylo minimálně jednou za život hospitalizováno s potížemi zad, 42,3 % pracovníků muselo navštívit lékaře kvůli

bolestem dolní části zad, 24,3 % kvůli bolestem krční páteře, a 16,6 % kvůli bolestem ramen.

Ačkoli není práce v HT považována za fyzicky náročnou, oproti například motomanuální těžbě, je zřejmé, že pracovní prostředí v harvestoru a vyvážecím traktoru způsobuje fyzickou únavu. Attebrant a kol. (1997) uvádí, že operátor HT je vystaven zvýšenému riziku chronické únavy, bolestí a trvalého poškození zad, ramen a rukou, přičemž nejvíce postiženy mohou být ramena a ruce, protože se podílí z 95 % na ovládání stroje. Oproti tomu (Axelsson, 1998) uvádí, že nejvíce jsou při obsluze HT namáhány svaly zad, ramen a krku.

Operátor stroje je vystaven neustálým vibracím a s nimi spojeným potíží. Hagberg (2002) a PYYKO et al. (1986) dokazují přímý vliv vibrací na vznik muskuloskeletárních poruch, vazoneurózy, chronických bolestí zad a podobně. Hellström, Andersen (1972) uvádí, že nejvyššímu riziku chorob způsobených vibracemi jsou vystaveni pracovníci s motorovou pilou, 47 % z nich je ohroženou vazoneurózou. Jen 14 % ostatních pracovníků v lesnictví, včetně obsluhy HT je vystaveno stejnému riziku. Metodikou výzkumu vlivu vibrací na lidský organismus se zabývá například Toibana et al. (2000).

Vibrace mohou způsobit, kromě poruch muskuloskeletárních, také poruchy srdeční a poruchy vnitřního ucha, jak uvádí Pyykoo et al. (1994).

Konstrukce moderních kabin HT minimalizuje vibrace, kabiny jsou odděleny od trakčního ústrojí stroje účinnými silentbloky, čímž dochází k minimalizaci rizik způsobených vibracemi.

Zvláštní kategorií stresu je stres tepelný. Pracovníci v lesním hospodářství jsou vystaveni velmi silnému tepelnému stresu, protože práce probíhají za rozličných, mnohdy velmi zhoršených povětrnostních podmínek. Jak uvádí Wästerlund (2001), je práce v lesním hospodářství stále jednou z nejvíce rizikových prací z hlediska tepelného stresu. Klimatizovaná kabina harvestoru a vyvážecího traktoru minimalizuje rizika spojená s tepelným stresem. Za jediný zdroj potenciálního rizika lze považovat změny při přechodu z kabiny do vnějšího prostředí, kdy v zimě může být rozdíl teplot až 40°C (uvnitř kabiny 20°C a mimo ni -20°C).

Značným rizikem pro operátora HT jsou chronické bolesti zad spojené s dlouhodobým posezem v pracovní sedačce. Andrusaitis et al. (2006) uvádí, že 59 % řidičů dálkových kamionů, kteří jsou stejně jako operátor HT, dlouhodobě usazeni na sedačce, vykazuje symptomy chronických bolestí zad.

Míra stresu, fyzické i psychické zátěže, únavy, zdravotního stavu a pracovní pohody operátora se přímo projevuje na výkonnosti HT, jak prokazuje například Miranda et al. (2001). Autorka dále uvádí, že například aktivní sport nebo jiné metody relaxace vykazují pozitivní vliv na zvýšení výkonu pracovníků, ke stejným závěrům dochází i Levy et al. (2005).

Neopomenutelným rizikem pro operátora HT, stejně jako pro všechny pracovníky v lesním prostředí, je riziko bakteriální, nebo virové infekce přenášené zejména bodavým a savým hmyzem. Cisak et al. (2005) dokládá, že v rámci experimentu v Národním parku Roztocze, bylo 11,5 % zkoumaných vzorků klíštěte obecného (*Ixodes ricinus*) nakaženo infekcí boreliózy, přičemž obzvláště nebezpečnou Borelií Burdorferi bylo nakaženo 55,3 % z celkově nakažených. Z celkového počtu zkoumaných pracovníků národního parku bylo 2,7 % prokazatelně nakaženo touto závažnou formou boreliózy, z čehož lze usuzovat vysokou míru rizikovosti. K shodnému závěru v podmínkách dánských lesů dospěl Charante et al. (1997).

### **3.7.5 Vliv HT na mimoprodukční funkce lesa**

Oceňování mimoprodukčních funkcí lesa je disciplína komplexní a značně složitá, zabývá se jí řada autorů. Základní pojmy při oceňování mimoprodukčních funkcí lesa uvádí Matějček (2003). Sebera (2004) a Šišák et al. (2002) se shodují v názoru, že mimoprodukční funkci lesa lze chápat především jako službu lesa veřejnosti. HT, stejně jako všechny ostatní metody těžby dříví výrazně ovlivňují lesní porost jako celek. V souvislosti s těžbou, ale i dalšími pěstebními zásahy se mění druhová skladba porostu, světelný, vodní a tepelný režim, ale také vzhled

porostu. Vzhled porostů výrazně ovlivňuje rekreační funkci lesa, ale také veřejné mínění laické obce o lesnících a lesnictví vůbec. Změnou skladby porostu je ovlivněn sběr hub, léčivých rostlin a lesních plodů. Hodnocení mimoprodukčních funkcí lesa je problematikou velmi složitou a komplexní, proto i posouzení vlivu HT na mimoprodukční funkce lesa je velice komplikované a není v možnostech této disertační práce.

## **4 Cíl práce a metodika**

Tato disertační práce má několik dílčích cílů směřujících k optimalizaci výroby harvestorovou technologií. Problematika optimalizace je tématem velmi rozsáhlým a komplikovaným, tato disertační práce si klade za cíl vymezit, analyzovat lidský faktor, který je významnou složkou jakékoliv pracovní činnosti. Analýza lidského faktoru je důležitým bodem pro optimalizace práce.

### **4.1 Cíl práce**

Cílem této disertační práce je posoudit vliv lidského faktoru na výkonnost harvestorové technologie, popsat vztah operátor – stroj a vzájemné interakce s ohledem na efektivitu práce, bezpečnost práce, únavu a případné nemoci z povolání.

Za tímto účelem byla pořízena série měření s přístrojem Biofeedback 2000 Xpert (BFB), který umožňuje registraci a záznam biometrických údajů (EMG, teplota, puls) měřené osoby, v tomto případě operátora HT, přičemž se zaznamenává zejména EMG svalových skupin, tělesná teplota, puls a dechová frekvence. Následná statistická analýza a interpretace naměřených hodnot, zejména EMG svalových skupin poukazuje na míru zátěže operátora při jednotlivých úkonech a pracovních operacích spojených s výrobou, z toho plynoucí riziko stresu a únavy a také vliv těchto faktorů na výkonnost v průběhu pracovní směny.

Cílem této práce bylo také optimalizovat metodu sběru dat pomocí BFB a jejich následné analýzy a interpretace.

Výsledky této disertační práce by měly přispět k posouzení náročnosti práce operátora HT. Následně by mělo být možné navrhnout opatření vedoucí jednak ke zvýšení výkonnosti HT a jednak ke zlepšení pracovního komfortu a pohody operátora a snížení únavy při práci.

## **4.2 Metodika**

Základem této disertační práce jsou experimentální měření vybraných výrobních podmínek na pracovišti. Jednalo se vždy o případovou studii vztahenou k daným podmínkám stanoviště, nasazené technologie a operátora. Je třeba získat ještě velké množství dat z různých stanovišť, aby bylo možné posoudit vztahy operátor – stroj – prostředí komplexně, které by mohly vést k jednoznačným závěrům. Veškerá měření i následná interpretace dat jsou vztaheny na konkrétní stanovištní podmínky a nelze je tedy zcela generalizovat. Proto, aby bylo možné si utvořit představu o konkrétních výrobních podmínkách v rámci každého měření, byl podle Dvořáka (2004) sestaven formulář „popis stanoviště“. Formulář byl upraven podle potřeb měření v rámci této disertační práce, všechna měření v terénu byla doplněna o formulář popisu stanoviště. Popis stanoviště obsahuje:

### **Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací podle Dvořáka (2004)**

Číslo formuláře:

#### **A. Porostní charakteristika:**

- Plocha porostu (ha):
- Věk:
- Zakmenění před zásahem z LHP:
- Dřeviny a jejich zastoupení (%):
- Výčetní tloušťky dřevin (cm):
- Střední výšky dřevin (m):
- Průměrná hmotnatost dřevin (m<sup>3</sup>):

#### **B. Charakteristika terénních podmínek:**

- Sklon terénu (%):

- Období těžby:
- Náchylnost k erozi (subjektivní hodnocení):
- Únosnost půdy (dle terénní klasifikace (Macků, Simanov, Popelka, 1993):
- Průjezdnost terénu (dle terénní klasifikace (Macků, Simanov, Popelka, 1993):
- Členitost terénu:
- Stav povrchu půdy (dle terénní klasifikace (Macků, Simanov, Popelka, 1993):

### **C. Charakteristika těžebního zásahu**

- Druh těžby (dle zákona):
- Dřevina:
- Průměrná hmotnatost ( $m^3/kmen$ ):
- Síla zásahu (%):

### **D. Technologická charakteristika:**

- Vzdálenost a umístění OM (m):
- Zpřístupnění nitra porostu vyvážecími linkami:
- Délka přibližovacích linií (m):
- Těžební metoda:
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu:
- Vrstva klestu na linkách (cm):

Formulář popisu stanoviště byl vždy doplněn o fotodokumentaci z místa těžebního zásahu, aby bylo možné přesně popsat konkrétní stanovištní podmínky.

Z hlediska hodnocení výkonnosti technologie byly pro účely této disertační práce dále využity „snímek pracovních operací“ a „snímek pracovního dne operátora“, s jejichž pomocí je možné posoudit časovou spotřebu na jednotlivé

pracovní operace nebo úseky pracovní operace a celkový časový průběh směny. V rámci této disertační práce byly jednotlivé úseky pracovní operace těžba dříví harvestorem stanoveny následovně:

**Jízda stroje do nového postavení** ( $t_{\Delta}$  121)– od započetí pohybu stroje z původního postavení do zastavení v novém pracovním postavení, včetně všech pojezdů potřebných k umístění stroje do nové pracovní pozice

**Kácení stromu** ( $t_{\Delta}$  122) – od zahájení manipulace s hydraulickým jeřábem, přes uchopení stromu až k jeho odříznutí a pokácení, tento úsek končí pádem stromu na zem, respektive zahájením zpracování stromu (popřípadě zahájením zpracování stromu před ukončením pádu)

**Odvětvování a krácení** ( $t_{\Delta}$  123) – manipulace se stromem po jeho pádu na zem, odvětvení, sortimentace, uložení výřezů, tento úsek končí uložení hydraulického jeřábu do polohy pro jízdu

#### **4.2.1 Měření pomocí přístroje Biofeedback 2000 Xpert**

Biofeedback 2000 Xpert (BFB) je senzorové zařízení umožňující měření, a registraci biometrických údajů. V rámci této disertační práce jsou měřeny tep, tělesná teplota v oblasti spánku a elektrická reakce svalových vláken vybraných svalových skupin. Zařízení umožňuje měření dalších biometrických ukazatelů, jako je elektrovalence kůže, dechová frekvence, encefalogram apod. Tyto však nebyly v rámci experimentu měřeny.

BFB je velmi účinným nástrojem pro posouzení vývoje biometrických hodnot operátora harvestoru v rámci pracovní směny i jednotlivých úseků pracovní operace. Zcela zásadní pro získání odpovídajících hodnot je správná instalace zařízení a umístění snímacích elektrod na tělo operátora. K měření s BFB je třeba následující vybavení:

- zařízení Biofeedback 2000 Xpert s odpovídajícími moduly a senzory,



- notebook s nainstalovanými ovladači,
- videokamera pro synchronizaci fyziologických veličin s pracovními operacemi a zpětnou kontrolu,
- drobné pomůcky pro fixaci zařízení v kabině harvestoru.

### *Funkce registračních modulů*

#### Multi modul

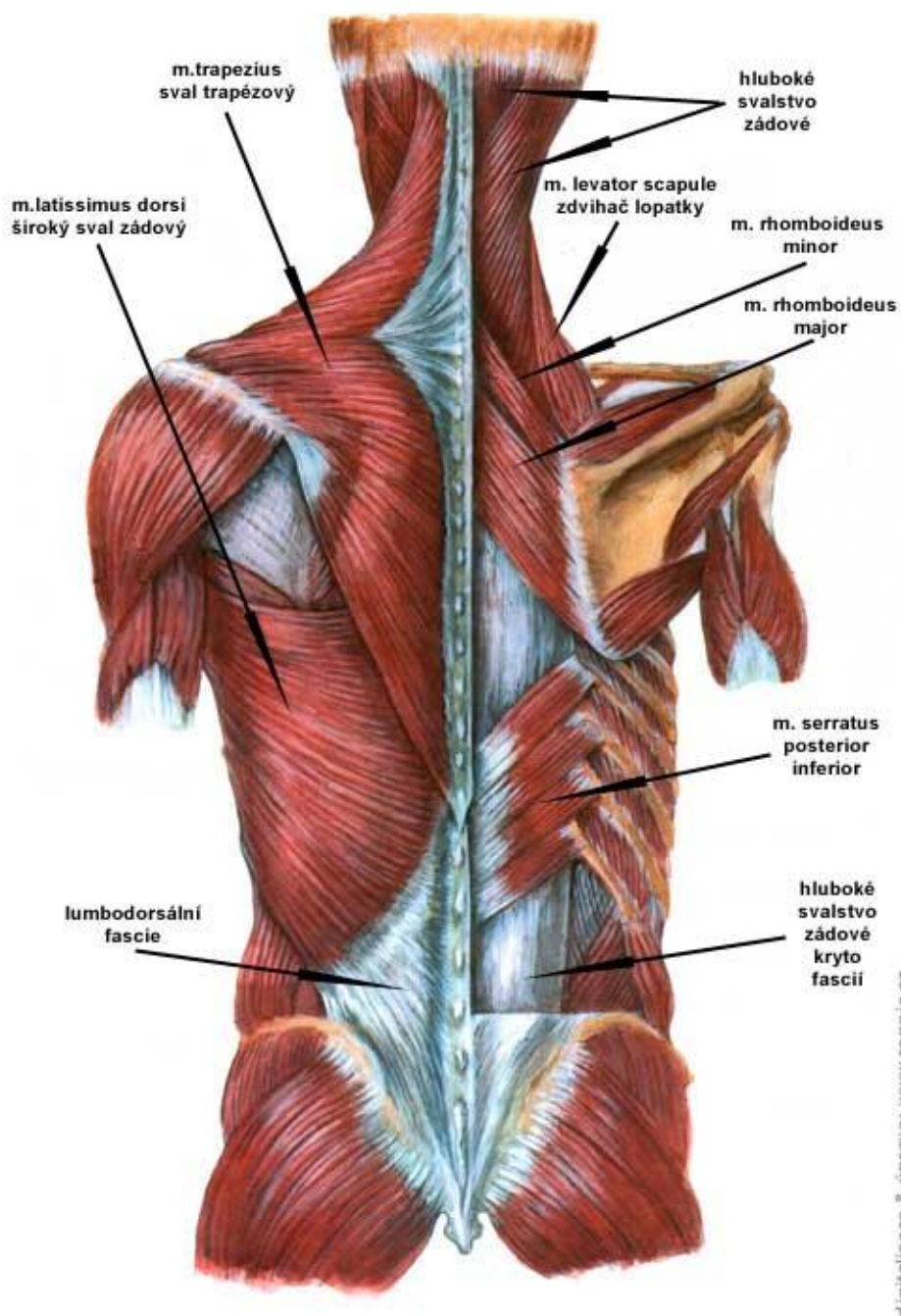
Umožňuje registrovat tělesnou teplotu a tepovou frekvenci ve spánkové oblasti, přesněji *os temporale* konkrétně *pars pyramidalis*. Modul je doplněn o dvojici senzorů, které se upevňují na hlavu operátora pomocí elastické čelenky. Je třeba dbát na správné umístění senzorů do oblasti spánků a na absenci vlasů a jiných překážek mezi senzorem a kůží.

#### EMG modul

Umožňuje měření elektrické aktivity svalových vláken při jejich kontrakci (EMG). Při měření EMG je zásadní přesná lokalizace senzorů na cílová zakončení svalových skupin. Při nesprávné instalaci senzorů může dojít k výraznému ovlivnění naměřených hodnot. V rámci této disertační práce se posuzuje především EMG svalů zad, ramen a krku, proto byly zvoleny dva základní způsoby instalace senzorů uvedené v následujícím textu.

#### *Instalace pro měření svalové aktivity zádové oblasti*

První dvojici senzorů je třeba místit na zakončení svalu trapézového (*musculus trapezius*) na horizontální snopec spojující lopatku se střední páteří čárou. Druhý pár na spinální část svalu deltového (*musculus deltoideus*), který obepíná ramenní kloub z obou stran (Fleischman, Linc, 1972) (obr.10), přičemž referenční elektroda by měla být umístěna na páteři, konkrétně v lokalizaci *vertebrae cervicales* (C5,C6). Lokalizace příslušných zakončení se nejlépe provádí pohmatem v poloze rukou rozpaženo. Lokalizace byla konzultována s MUDr. Václavem Hlaváčkem z Fakultní nemocnice Královské Vinohrady.



**Obr. 10.** Svalstvo zad a krku (www.ronnie.cz)

#### *Instalace pro měření svalové aktivity krčních svalů*

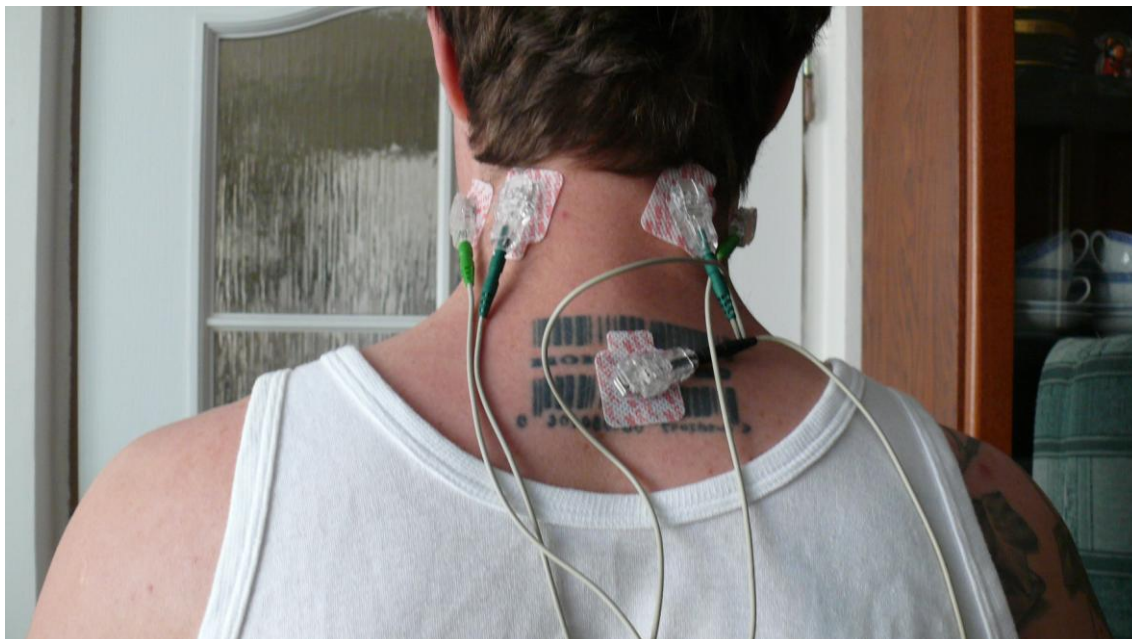
Umístění senzorů bylo pro potřeby této disertační práce původně navrženo tak, že první dvojice senzorů byla umístěna na *musculus sternocleidomastoeus* v oblasti *processus mastoideus* a druhá na *musculus trapezius* v oblasti napojení na *claviculu* (obr. 11).

Instalace senzorů pro měření svalové aktivity krčních svalů byla v průběhu

prvních měření upravena, protože se zjistilo, že původní instalace, při umístění dvojice senzorů EMG 2 na *musculus trapesius* v oblasti spojení s *claviculou* není vhodné, neboť měření jsou silně ovlivněna aktivitou okolních svalových skupin. Nově navržené umístění senzorů (obr. 12) na *musculus trapesius* v napojení na *processus mastoideus* vykazuje lepší výsledky.



**Obr. 11.** Původní umístění senzorů pro měření aktivity krčních svalů (archiv autora)



**Obr. 12.** Nové umístění senzorů pro měření aktivity krčních svalů (archiv autora)

### *Metodika měření*

Přesné umístění senzorů, registračních modulů a notebooku do kabiny stroje je publikováno v Macků (2011). Měření v rámci této disertační práce probíhalo podle schématu:

- příjezd na místo, kde bude probíhat měření,
- rekognoskace terénu,
- seznámení se s operátory účastnicími se experimentu a vysvětlení problematiky měření,
- instalace senzorů na tělo operátora,
- instalace registračních modulů a propojení se senzory,
- instalace notebooku do prostoru kabiny,
- iniciace ovládacího programu,
- zkušební měření v délce cca 1 minuta,
- případná oprava chybného spojení,
- spuštění videozáznamu s detailním pohledem na monitor notebooku,

- spuštění měření s klíčováním nulového bodu měření,
- výstup z kabiny, nástup operátora,
- zahájení pracovní činnosti operátora,
- měření v délce cca 20 minut za souběžného pořizování videozáznamu,
- ukončení měření,
- vyplnění formuláře popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací,
- fotodokumentace stanoviště,
- záloha naměřených dat do souboru xls,
- opakované měření v průběhu směny.

Následná analýza probíhala podle schématu:

- export datových souborů ve formátu xls,
- klíčování souboru dat s videozáznamem,
- přiřazení časů jednotlivých pracovních operací a úseků pracovních operací k souboru dat,
- přiřazení biometrických údajů k jednotlivým pracovním operacím a úsekům, pracovních operací,
- statistická analýza,

Zcela zásadní pro odpovídající výsledky měření je přesné a především opakovatelné umístění senzorů na tělo operátora a také přesné klíčování videozáznamu se souborem dat z BFB, tak aby bylo následně možné přesně přiřadit jednotlivá data ke konkrétním pracovním operacím popř. jejich úsekům. Za tímto účelem byl vždy nejdříve zahájen videozáznam v prostoru kabiny zaměřený na obrazovku notebooku, poté byl spuštěn program BFB. Program několik vteřin lokalizuje externí moduly a poté započne měření. Po iniciaci měření bylo možné kabinu stroje opustit a videokameru umístit na stativ vně harvestoru tak, aby byl umožněn dobře viditelný záznam jednotlivých pracovních operací vykonávaných strojem. S ohledem na velké množství dat z BFB byla stanovena délka jednoho bloku měření na 20 minut.

## 4.2.2 Varianty měření

Zařízení BFB umožňuje velmi široké a různorodé využití. Zejména instalace senzorů EMG nabízí velmi mnoho variant. Analýza souborů dat rovněž nabízí značné množství interpretací za využití rozličných statistických nástrojů. Vzhledem k tomu, že využití BFB v prostředí lesní těžby je poměrně novou záležitostí, lze usuzovat, že velká část potenciálu tohoto zařízení ještě nebyla popsána. Pro účely této disertační práce byly stanoveny tři základní směry měření a analýzy dat, přičemž se vždy vycházelo ze shodné instalace senzorů a metodiky sběru dat, rozdílné bylo pouze prostředí sběru a cílení experimentu. V rámci této disertační práce byly posuzovány tyto tři základní směry:

*Komparace biometrických údajů operátora HT s údaji z jiných pracovních úkonů a dále z běhu a chůze*

Zásadním problémem při sběru a analýze dat získaných pomocí BFB ve výrobní fázi lesní těžba je absence podobných dat a vědeckých článků zabývajících se touto tematikou. Je to dáno relativní novostí této metody. Nedostatek hodnot s předchozích výzkumů se projevuje jednak v omezené možnosti kontroly správnosti metodiky (instalace senzorů, sběr a analýza dat jsou stanoveny na základě vlastního rozhodnutí) a jednak v subjektivnosti interpretace výsledků. Právě interpretace výsledků se zatím jeví jako zásadní problém. Výsledky je zatím možné posuzovat pouze komparativně. Z tohoto důvodu byl v rámci této disertační práce stanoven jeden ze směrů interpretace výsledků komparací s obdobnými údaji z jiných lidských činností. Základní ideou tohoto pokusu je porovnat hodnoty biometrických údajů naměřené při těžbě dříví HT s hodnotami stejných biometrických údajů získaných stejnou metodou sběru za předpokladu stejné instalace senzorů u jiných lidských činností, u kterých je známa jejich fyzická náročnost a míra zátěže.

V rámci tohoto experimentu byly zvoleny následující lidské činnosti:

Činnosti související s lesní těžbou:

- těžba dříví motorovou pilou

- těžba dříví harvesterem
- přibližování dříví koněm

Činnosti nesouvisející s těžbou dříví:

- volná chůze
- běh

#### *Neinvazivní metoda komparativního měření činnosti okohybných svalů*

V rámci měření byla navržena metoda měření činnosti svalů podílejících se na lokomoci oka. Oči operátora HT jsou vystaveny neustálému pracovnímu zatížení, protože při práci musí operátor neustále sledovat dění v prostoru těžební hlavice a zároveň obrazovku uvnitř kabiny. Velká část změn pohledu se děje právě prostřednictvím lokomoce očí. Nepřetržitá činnost očí a okohybných svalů při práci se projevuje zvýšenou únavou dané oblasti a může zřejmě vést i k trvalým změnám očního aparátu. Vzhledem k velké náročnosti přímého měření svalového napětí okohybných svalů (Aramideh et al., 1993), zvláště v prostředí těžby dříví HT, byla navržena metoda nepřímá, komparativní. Za tímto účelem byla pro toto měření zhotovena obličejová maska (viz obr. 13.) částečně omezující zorné pole operátora. Tato maska zmenšila zorný úhel zhruba o  $50^\circ$  v horizontále z běžných cca  $140^\circ$  na  $90^\circ$  a o zhruba stejnou hodnotu vertikálně z běžných  $100^\circ$  na  $50^\circ$ . Předpokládá se, že v souvislosti se zmenšením zorného pole operátora se větší část úlohy změn pohledu přesune na lokomoční aparát hlavy, který lze úspěšně monitorovat pomocí BFB. Následná komparace výsledků s výsledky například v prostředí motomanuální těžby, nebo přibližování dříví koněm by měla ukázat míru nároků kladenou na okohybný aparát a oči operátora HT. Toto měření bude dále doplněno subjektivním popisem stavu očí a jejich únavy v průběhu pracovní směny vyplněným operátorem před zahájením směny, v průběhu a po ukončení směny.





**Obr. 13.** Vozka s nasazenou obličejovou maskou při přibližování dříví koněm

*Vliv hudby na výkonnost HT a na psychickou pohodu operátora při práci – komparace biometrických údajů operátora HT v pracovním prostředí s hudbou a bez ní*

V rámci této disertační práce je dále prováděn výzkum vlivu hudby na pracovní prostředí operátora, na jeho psychickou pohodu, míru stresu a následně i na výkonnost technologie. Předpokládá se, že hudba pozitivně ovlivní psychickou pohodu operátora, sníží stres a zvýší výkonnost, což potvrzují mnohé odborné publikace, např.: Lesiuk (2005), Huang a Sih (2009) nebo Furnham a Bradley (1999) a dále celá řada dalších autorů. Za účelem prokázání této hypotézy bude pořízena série měření pomocí BFB v kabině stroje bez hudby, s hudbou relaxační a s hudbou agresivní. Výběr hudby bude ponechán na vkusu operátora, bude pouze zaznamenána celková nálada dané hudby.



### 4.2.3 Analýza dat

Jeden blok měření s BFB v délce cca. 20 minut obsahuje zhruba 500 000 biometrických údajů. Proto je nutná generalizace dat. Data z BFB byla vyexportována do tabulky programu Microsoft Excel. Videozáznam byl synchronizován s údaji o čase měření (odečten čas videozáznamu před zahájením měření BFB). Po klíčování byl přiřazen soubor biometrických údajů odpovídajících danému úseku pracovní operace a tento byl generalizován pomocí aritmetického průměru. Touto operací vznikl soubor biometrických údajů, obsahující jednu hodnotu daného prvku (např. teplota) ke každé pracovní operaci nebo jejímu úseku. Následně je možné analyzovat vývoj například EMG jak v rámci jedné pracovní operace, tak v rámci pracovní směny.

Při komparaci dvou a více souborů dat například EMG svalů zad s obličejovou maskou a bez obličejové masky bylo pro účely této disertační práce využito statistických nástrojů  $t$  - testu. Všechny soubory dat byly zároveň podrobeny analýze homostedasticity (shodnosti rozptylů) pomocí Levenova testu.

#### *Interpretace výsledků*

Vzhledem k tomu, že výzkum biometrických údajů operátora HT pomocí BFB je poměrně nový, není zatím možné srovnávat výsledky získané v rámci měření s výsledky již publikovanými s ohledem na rozdílné metodiky sběru dat v terénu. Biometrické údaje jsou rovněž velmi variabilní pro každého operátora, proto byla zvolena metoda přímé komparace výsledků pro daný datový blok. Biometrické údaje by měly být porovnávány několika způsoby:

- údaje od operátora HT porovnané s údaji například z motomanuální těžby,
- údaje od jednoho operátora při práci a v klidové fázi,
- údaje od jednoho operátora s obličejovou maskou a bez ní,
- údaje od jednoho operátora při puštěné, respektive vypnuté hudbě v prostoru kabiny,
- údaje od operátorů HT s údaji z běžných lidských činností (chůze, běh

apod.).

#### **4.2.4 Základní hypotézy práce**

V rámci této disertační práce se předpokládá že:

- existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými údaji operátora a biometrickými údaji naměřenými při jiných lidských činnostech,
- existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými údaji operátora při použití obličejové masky omezující zorné pole a bez ní,
- existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými údaji operátora v prostředí s hudbou a bez ní,

#### **4.3 Očekávaný přínos práce**

Předpokládá se, že měření v rámci této disertační práce přinese cenné poznatky o posuzovaných biometrických údajích operátora (zejména EMG cílových svalových skupin) pro konkrétní výrobní podmínky. Jejich následnou interpretací by mělo být možné posoudit jejich vliv na výkonnost výroby HT, ale také na míru pracovní pohody, únavy a stresu operátora. Komparací biometrických údajů z HT s hodnotami získanými při měření během motomanuální těžby, soustředování dříví koněm, ale také při běžných činnostech, jako je chůze nebo běh, by mělo být možné posoudit zátěž posuzovaných svalových skupin.

Tato disertační práce by měla přispět k posuzování pracovní zátěže, psychické a fyzické náročnosti práce v HT a navrhnout možné kroky vedoucí k optimalizaci výroby jak z hlediska výkonnosti, tak z hlediska pracovního prostředí a pracovní pohody operátora a také z hlediska minimalizace rizik spojených s prací v HT.

## 5 Výsledky

V rámci experimentu proběhla řada měření na mnoha stanovištích a mnoha strojích. Pro potřeby matematicko – statistické analýzy byl z těchto měření vybrán reprezentativní vzorek a tento byl nadále analyzován. V následující kapitole jsou uvedeny výsledky analýz realizovaných pro potřeby této disertační práce. V souladu s designem experimentu a metodikou této disertační práce jsou uváděné výsledky rozdělené do několika skupin.

### **5.1 Komparace biometrických údajů operátora HT s údaji z jiných pracovních operací souvisejících s těžbou dříví a dále z běhu a chůze**

Výsledky získané v rámci této disertační práce jsou pro přehlednost seřazeny do několika podkapitol podle schématu: výrobně technické podmínky experimentu, osoby účastníci se experimentu a mechanizační prostředky a samotné výsledky.

#### **5.1.1 Výrobně technické podmínky experimentu**

##### *Stanoviště*

Měření probíhala na několika stanovištích. Při těžbě dříví harvestorem proběhlo měření ve smrkových porostech (*picea abies Karst*) s vtroušenou břízou (*betula pendula Roth*) a bukem (*fagus silvatica Linné*). Střední věk porostu byl 130 let, průměrná hmotnatost 0,93 m<sup>3</sup>, výčetní tloušťka 30 cm a střední výška 28 m. Z hlediska prostupnosti terénu se jednalo o porost bezpřekážkový s překážkami do maximální výšky 50 cm. Povrch byl suchý únosný. Sklon terénu byl menší než 10 % (viz příloha č. 1).

Těžba dříví motorovou pilou proběhla ve smrkovém porostu (*picea abies*

*Karst*) s vtroušenou břízou (*betula pendula*) a olší (*alnus glutinosa*). Střední věk porostu byl 110 let, průměrná hmotnatost 0,63 m<sup>3</sup>, výčetní tloušťka 25 cm a střední výška 20 m. Povrch byl suchý s dobrou únosností, bez překážek. Sklon terénu byl zhruba 30 % (viz příloha č. 2).

Přibližování dříví koněm proběhlo ve smrkovém porostu (*picea abies*). Střední věk porostu byl 60 let, průměrná hmotnatost 0,38 m<sup>3</sup>, výčetní tloušťka 17 cm a střední výška 12 m. Povrch byl pokryt souvislou vrstvou sněhu. Sklon terénu byl v rozmezí 30 – 40 % (viz příloha č. 3).

Chůze a běh byly měřeny na operátorovi harvestoru v místě realizace těžby po ukončení pracovní směny, interval pro měření byl u chůze zkrácen na 10 minut a u běhu na 5 minut.

#### *Osoby účastnící se experimentu a mechanizační prostředky*

Měření při sortimentní těžební metodě bylo prováděno při výrobě strojem Rottne 5005, což je stroj vysoké výkonové třídy (viz příloha č. 6) a strojem Rottne H 20, což je rovněž stroj vysoké výkonové třídy (viz příloha č. 7). Dva vybraní operátoři (A, B) byli ve věku 35 a 42 let, s praktickými zkušenostmi delšími než 3 roky. Operátor A pracoval se strojem Rottne 5005 a operátor B se strojem Rottne H20.

Těžbu motorovou pilou Husquarna 576 prováděl dřevorubec ve věku 29 let s desetiletou zkušeností.

Přibližování dříví koněm prováděl vozka ve věku 34 let s čtrnáctiletou praxí s koněm slezský norik stáří 8 let.

### **5.1.2 Výsledky experimentu**

V rámci tohoto experimentu byly soubory dat k jednotlivým zkoumaným pracovníkům podrobeny stejné statistické analýze, přičemž byl brán zřetel na biometrické hodnoty jako celek, to znamená, že pro potřeby tohoto experimentu nebyla data klíčována a rozdělena do jednotlivých úseků pracovních operací a pracovních operací. Cílem tohoto experimentu nebylo posuzovat

jednotlivé úseky pracovních operací, ale vzájemné rozdíly hodnot mezi jednotlivými lidskými činnostmi. V rámci měření bylo získáno přes jeden milion biometrických údajů, které byly pro přehlednost nejprve analyzovány pomocí základních statistických nástrojů - aritmetického průměru, minimálních a maximálních hodnot. Při analýze byl zároveň nastaven filtr minimalizující chyby měření způsobené výpadkem spojení mezi BFB a počítačem a to tak, že byla odstraněna taková datová pole, která vykazovala hodnotu 0. Při nastavování filtru se vycházelo z předpokladu, že datové pole nemůže vykazovat jinou než kladnou hodnotu bez nuly. Hodnoty biometrických údajů pro dva operátory HT (označení operátor A a B), pro běh a chůzi, pro přibližování dříví koněm (označeno vozka) a pro těžbu dříví motorovou pilou (označeno dřevorubec) uvádí tabulka č. 4.

**Tab. 4.** Průměrné, minimální a maximální hodnoty biom. údajů

<b>Operátor A</b>	EMG 1 ( $\mu\text{V}$ )	EMG 2 ( $\mu\text{V}$ )	Teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )	Puls (b/min)
Průměr	17,2775	44,5796	34,4304	49,5563
Min	4,6661	9,0315	34,2650	48,6121
Max	92,1944	196,6201	34,5000	82,1381
<b>Operátor B</b>	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
Průměr	19,4285	55,3337	34,2421	49,5554
Min	5,2881	10,3286	34,0800	34,1062
Max	124,9657	250,0000	34,4800	82,7979
<b>Běh</b>	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
Průměr	24,5432	117,4236	34,1509	49,7760
Min	7,6687	16,2960	33,9800	33,5107
Max	108,2007	206,0966	34,3000	79,4883
<b>Chůze</b>	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
Průměr	17,9370	78,7529	34,0290	49,5575
Min	7,6773	20,1783	33,7800	0,0244
Max	265,5093	493,0569	34,6800	84,7131
<b>Vozka</b>	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
Průměr	45,6608	147,4120	34,3962	49,5691
min	5,3681	21,2447	33,6500	0,0244
max	485,6042	500,0000	34,8700	90,2106
<b>Dřevorubec</b>	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
Průměr	41,1186	142,1570	34,0662	49,5561
Min	7,7166	25,8723	33,7500	1,0474
Max	336,2730	500,0000	34,3000	79,7254

Naměřené hodnoty biometrických údajů pro jednotlivé zkoumané lidské činnosti, související i nesouvisející s výrobou, byly následně pro přehlednost porovnány s odpovídajícími hodnotami biometrických údajů obou operátorů HT. Vzájemný poměr byl vyjádřen v procentech. V tomto případě se nejedná o nástroj statistické analýzy a výsledky musí být interpretovány a chápány pouze orientačně. Přesto vyjádření procentuálního podílu hodnot biometrických údajů vykazuje vysokou vypovídací schopnost pro utvoření základní představy o náročnosti výroby HT ve srovnání s jinými lidskými činnostmi. Z tohoto důvodu, ačkoliv se nejedná o průkaznou metodu, bylo procentuální srovnání pro potřeby této disertační práce použito. Výsledek uvádí tabulky 5. a 6., (značení je shodné s tabulkou 4). Vzor pro interpretaci výsledků: Je – li uvedeno v tabulce pro operátora A u činnosti běh EMG 1 - 142,12, znamená to, že snímač EMG 1 při měření běhu vykázal o 42,12 % vyšší hodnoty, než v případě těžby dříví HT realizované operátorem A.

**Tab. 5.** Procentuální podíl hodnot biometrických údajů zkoumaných lidských činností vztažených k těžbě dříví HT pro **operátora A** (%)

	EMG 1	EMG 2	Teplota	Puls
<b>Běh</b>	142,12	263,40	99,18	100,43
<b>Chůze</b>	103,86	176,66	98,83	100,00
<b>Vozka</b>	264,28	330,67	99,9	100,02
<b>Dřevorubec</b>	238,09	318,88	98,94	100,00

**Tab. 6.** Procentuální podíl hodnot biometrických údajů zkoumaných lidských činností vztažených k těžbě dříví HT pro **operátora B** (%)

	EMG 1	EMG 2	Temp	Puls
<b>Běh</b>	126,33	212,21	99,73	100,44
<b>Chůze</b>	92,32	142,32	99,38	100,00
<b>Vozka</b>	235,02	266,41	100,45	100,02
<b>Dřevorubec</b>	211,64	256,91	99,49	100,00

Naměřené biometrické údaje byly následně podrobeny Levenovu testu pro ověření shodnosti rozptylů, přičemž ve všech zkoumaných případech test prokázal shodnost rozptylů a potvrdil oprávněnost použití  $t$  - testu pro další statistickou analýzu dat. Výsledek  $t$  – testu uvádí tabulka 7, přičemž  $t$  vyjadřuje výsledek testu

a  $p$  pravděpodobnost chyby prvního řádu.

**Tab. 7.** Výsledky t- testu EMG dvou operátorů HT versus EMG při jiných činnostech

<b>EMG 1</b>	<b>t (abs)</b>	<b>p</b>
operátor A vs. běh	95,59	0,001
operátor A vs. chůze	7,55	0,001
operátor A vs. vozka	129,65	0,001
operátor A vs. dřevorubec	124,36	0,001
operátor B vs. běh	36,66	0,001
operátor B vs. chůze	14,92	0,001
operátor B vs. vozka	114,64	0,001
operátor B vs. dřevorubec	112,85	0,001
<b>EMG 2</b>	<b>t (abs)</b>	<b>p</b>
operátor A vs. běh	318,08	0,001
operátor A vs. chůze	182,52	0,001
operátor A vs. vozka	182,69	0,001
operátor A vs. dřevorubec	166,68	0,001
operátor B vs. běh	120,20	0,001
operátor B vs. chůze	90,53	0,001
operátor B vs. vozka	154,30	0,001
operátor B vs. dřevorubec	143,51	0,001

V průběhu experimentu se potvrdil předpoklad, že měření tělesné teploty a pulsu v lesním prostředí je velmi obtížné a získaná data jsou značně zkreslena vlivem okolí (viz obr. 14). Jejich interpretace a především ověřitelnost opakovaním měření je značně diskutabilní, proto se pro další analýzy s těmito dvěma biometrickými veličinami nepočítalo. Oproti tomu EMG svalových skupin vykázala v rámci experimentu vysokou vypovídací schopnost a zároveň vysokou možnost kontroly výsledků opakovaním měření, proto bylo další měření a analyzování dat zaměřeno na tyto biometrické veličiny.

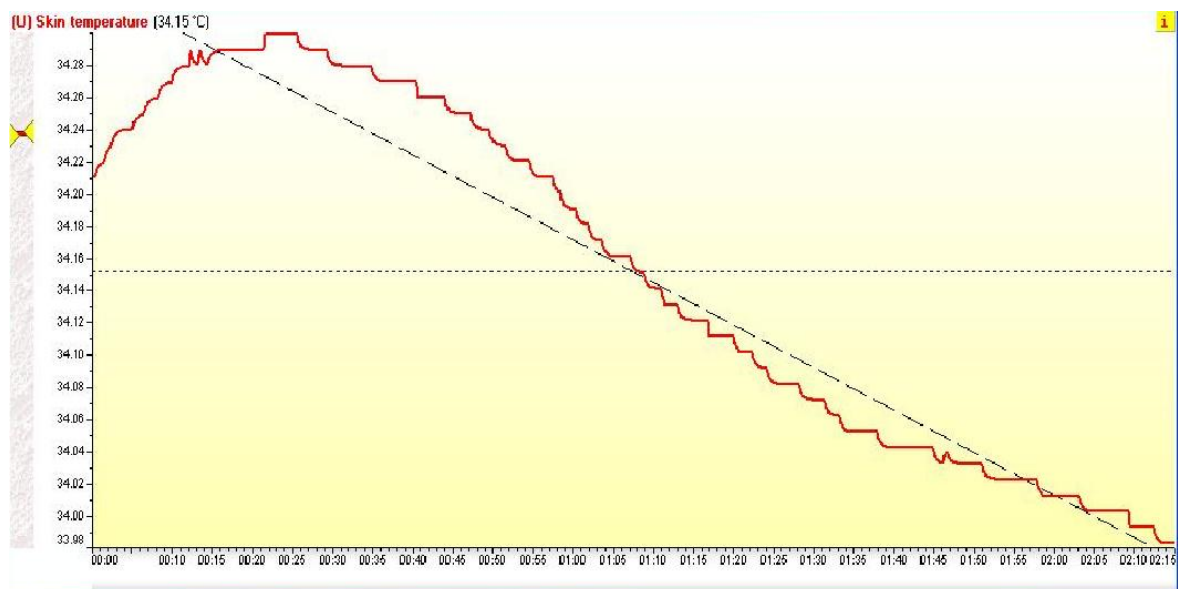


**Obr. 14.** Instalace snímačů BFB v lesním prostředí při přibližování dříví koněm (zdroj: archiv autora)

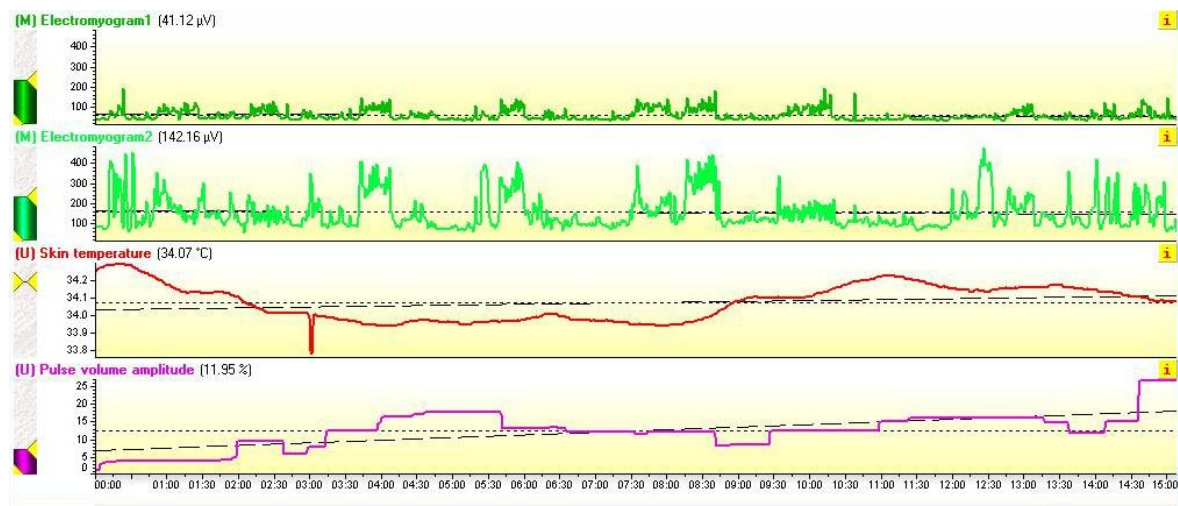
Jedním z důkazů tvrzení, že tělesná teplota a puls jsou v prostředí lesní těžby silně ovlivněny vnějšími podmínkami jsou výsledky uvedené v grafu 4., který ukazuje vývoj teploty na spánkovém snímači po dobu dvou minut od zahájení měření na vozkovi při přibližování dříví koněm. Měření započalo v kabině automobilu s následným přechodem do vnějšího prostředí s okamžitým zahájením práce. Teplota oproti předpokládanému vzrůstu naopak silně klesala pod vlivem velmi nízké teploty venkovního prostředí. V první části grafu je patrný vzrůst teploty v době výstupu z kabiny automobilu, který lze předpokládat s ohledem na zvýšenou pohybovou činnost. Následně se začíná projevovat vliv okolního prostředí a dochází ke značnému poklesu teploty, ačkoliv vozka vykazuje značnou pohybovou aktivitu při práci s koněm. Neprůkaznost měření teploty a pulsu a zároveň neprůkaznost závislosti na hodnotách EMG, která je předpokladem pro interpretaci výsledků, dokazuje i graf 5, zobrazující vývoj jednotlivých biometrických údajů v rámci patnáctiminutového úseku měření. Provázanost



jednotlivých biometrických údajů byla dále testována pomocí vícenásobné regrese, která potvrdila předpoklad, že v rámci experimentu nejsou veličiny – tělesná teplota a tepová frekvence závislé na EMG cílových svalových skupin.



**Graf 4.** Vývoj tělesné teploty vozky na spánkovém snímači ihned po zahájení práce (výstup ze software Biofeedback) – osa x vyjadřuje časovou řadu, osa y vyjadřuje teplotu



**Graf 5.** Vývoj hodnot biometrických údajů v průběhu patnáctiminutového měření (výstup ze software Biofeedback) – osa x vyjadřuje časovou řadu, osa y vyjadřuje posuzované fyziologické faktory

### 5.1.3 Dílčí závěr

V daných podmínkách se podařilo prokázat, že hodnoty EMG konkrétních svalových skupin operátora harvestoru jsou nižší, než je tomu u těžby dříví motorovou pilou, přibližování dříví koněm, při chůzi i při běhu. Těžba dříví motorovou pilou vykazala o 138,09 % vyšší hodnoty na snímači EMG 1 a o 218,88 % vyšší hodnoty na snímači EMG 2 v porovnání s hodnotami naměřenými u operátora A. V porovnání s hodnotami operátora B dosáhlo EMG 1 11,64 % zvýšení a EMG 2 156,91 % zvýšení. Výsledky EMG 1 a 2 při měření přibližování dříví koněm vykazaly zvýšení o 164,28 % a 218,88 % v porovnání s výsledky operátora A a o 111,64 % a 156,91 % v porovnání s operátorem B. Výsledky EMG při měření běhu vykazaly o 42,12 % a 163,40 % vyšší hodnoty než u operátora A a o 26,33 % a 112,21 % vyšší než u operátora B. Výsledky EMG naměřeného při chůzi vykazaly o 3,86 % a 76,66 % vyšší hodnoty než u operátora A. V porovnání s operátorem B vykazaly výsledky EMG 1 o 7,68 % menší hodnoty, hodnoty na snímači EMG 2 byly o 42,32 % větší.

Pouze v případě chůze byla naměřena nižší průměrná hodnota EMG 1 než u operátora harvestoru B. Lze tedy usuzovat, že svalové napětí a tím i námaha konkrétních svalových skupin je v případě sortimentní těžební metody prokazatelně nižší než u těžby dříví motorovou pilou, přibližování dříví koněm, ale i při běhu a chůzi. Toto tvrzení potvrdily i výsledky t - testu, z nichž je patrné, že ve všech zkoumaných případech lze tvrdit, že existuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti testu 0,05 i 0,01. Pravděpodobnost zamítnutí správné hypotézy se v tomto případě blíží nule. Naproti tomu se v rámci experimentu nepodařilo prokázat statisticky významný rozdíl hodnot tepové frekvence a tělesné teploty ve spánkové oblasti při posuzovaných úkonech a pracovních operacích. Dále bylo zjištěno, že znovudosažení výsledků při opakování experimentu, které je nutné pro další interpretaci, je velmi problematické vzhledem k silnému vlivu okolního prostředí na výsledky měření. Vícenásobná regrese potvrdila předpoklad, že v rámci experimentu nelze potvrdit závislost hodnot tepové frekvence a tělesné teploty na hodnoty EMG, což se jeví jako zásadní problém pro interpretaci výsledků v rámci této disertační práce. Biometrické údaje o tepové frekvenci a

tělesné teplotě se z tohoto pohledu jeví jako neprůkazné a v rámci tohoto experimentu nevhodné. Měření EMG specifických svalových skupin jako nejprůkaznější a pro posuzování dané problematiky se jedná o nevhodnější metodu. Pro další experimenty bylo od měření a posuzování hodnot tepové frekvence a tělesné teploty ve spánkové oblasti upuštěno a pozornost se zaměřila na měření a analýzu hodnot EMG.

Hypotéza, že existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými údaji operátora a biometrickými údaji naměřenými při jiných lidských činnostech, byla v rámci tohoto experimentu a v daných výrobních podmínkách **potvrzena**.

## **5.2 *Neinvazivní metoda komparativního měření činnosti okohybných svalů***

V této kapitole jsou uvedeny výsledky experimentu, v rámci kterého byla navržena a vyzkoušena obličejová maska omezující výhled. Výsledky jsou rozděleny do několika podkapitol.

### **5.2.1 Výrobně technické podmínky experimentu**

Experiment proběhl při těžbě dříví HT a přibližování dříví koněm zároveň s měřeními pro srovnání biometrických údajů operátora HT s dalšími výrobními i nevýrobními činnostmi (viz kapitola 5.1).

Experimentu se účastnil operátor A se strojem Rottne 5005 a vozka s koněm. Stanovištní podmínky a porostní charakteristika byly shodné s výše zmíněným případem.

Předpokladem experimentu bylo, že při omezení zorného pole operátora dojde ke zvýšení hodnot EMG cílových svalových skupin podílejících se na lokomoci hlavy. Při zmenšení zorného úhlu zhruba o 50° v horizontále z cca 140° na 90°, a o zhruba stejnou hodnotu vertikálně z 100° na 50°, lze očekávat vyrovnání deficitu častějším pohybem hlavou a tím vyšší zátěží svalů, které se přímo podílejí na pohybech hlavy. Pro srovnání bylo stejné metody použito

v případě přibližování dříví koněm (viz obr. 15)



**Obr. 15.** Omezení zorného pole vozky pomocí obličejové masky (zdroj: archiv autora)

### 5.2.2 Výsledky experimentu

V rámci experimentu bylo naměřeno 145 700 biometrických údajů o EMG cílových svalových skupin u operátora HT a vozky při přibližování dříví koněm a to jak s použitím obličejové masky omezující výhled, tak bez ní. Výsledné hodnoty byly dále statisticky zpracovány v souladu s metodikou experimentu.

*EMG zkoumaných svalových skupin vykazovala vyšší hodnoty v případě omezení zorného pole ve všech případech měření. V případě operátora harvestoru se jednalo o nárůst o 12,3 % na snímači umístěném na musculus sternocleidomastheus v oblasti processus mastoideus a o 24,1 % na snímači v oblasti musculus trapesius (Macků 2011).*

Všechny soubory dat byly podrobeny Levenovu testu pro potvrzení rovnosti rozptylů, přičemž test rovnost potvrdil, na základě čehož bylo možné dál data analyzovat. Následná analýza pomocí  $t$  - testu prokázala statisticky významný rozdíl ve všech zkoumaných případech a to jak na hladině významnosti testu 0,05, tak na hladině 0,01. Výsledné hodnoty testovací statistiky EMG 1 a 2 pro operátora HT testované ve smyslu bez obličejové masky versus s obličejovou maskou uvádí tabulka 8. Shodný test pro vozku při přibližování dříví koněm byl proveden s výsledky testovací statistiky uvedenými v tabulce 9. Tabulky 8 a 9 ukazují jednak hodnotu  $t$  - testu (v tabulce hodnota  $t$ ), tak počet stupňů volnosti testu a pravděpodobnost chyby testu (v tabulce  $p$ ). V tabulkách je dále uveden počet měření (A – bez masky a B – s maskou) a také pro ověření správnosti testovací statistiky výsledek testu shodnosti rozptylů ( $F$  – test) a pravděpodobnost chyby testu, to znamená nejmenší hladinu pravděpodobnosti, na které lze zamítnout nulovou hypotézu (v tabulce označeno  $p$  rozptyly).

**Tab. 8.** Výsledek  $t$  - testu operátor HT bez masky omezující výhled versus s maskou

	hodnota $t$ (abs)	stupně volnosti (abs)	$p$	počet A (abs)	počet B (abs)	$F$ - poměr rozptyly	$p$ rozptyly
EMG 1	-37,89	72892	0,001	36412	36482	4,476	0,001
EMG 2	-52,69	72892	0,001	36412	36482	7,506	0,001

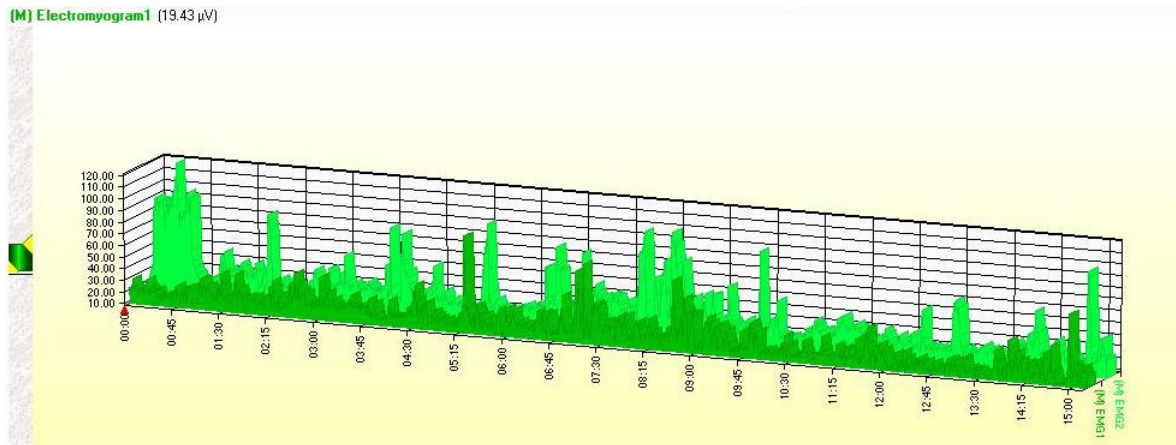
**Tab. 9.** Výsledek  $t$  - testu vozka bez masky omezující výhled versus s maskou

	hodnota $t$ (abs)	stupně volnosti (abs)	$p$	počet A (abs)	počet B (abs)	$F$ - poměr rozptyly	$p$ rozptyly
EMG 1	15,63	72957	0,001	36533	36426	1,551	0,001
EMG 2	6,49	72957	0,001	36533	36426	1,340	0,001

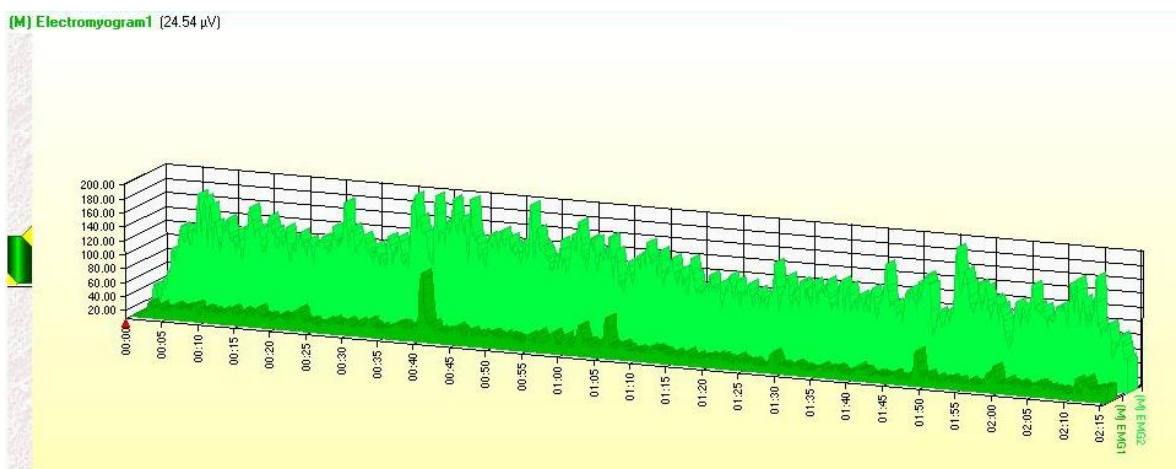
Během experimentu se ukázalo, že, v rámci experimentu, při použití obličejové masky dochází nejen k nárůstu hodnot EMG oproti hodnotám bez masky, ale zároveň i ke změně poměru hodnot na snímači EMG 1 a EMG 2. Při použití obličejové masky dochází k prudkému nárůstu hodnot na snímači EMG 2 oproti snímači EMG 1. Tento jev lze vysvětlit umístěním snímačů, protože snímač EMG 2 byl v rámci experimentu umístěn na svalové skupiny konající lokomoční pohyby hlavy převážně vodorovné, tedy otáčení hlavy do stran. Snímače EMG 1



byly umístěny na svalové skupiny podléjící se především na pohybech hlavy nahoru a dolů. Změna poměrů EMG hodnot je dobře patrná z 3D grafů 6 a 7.



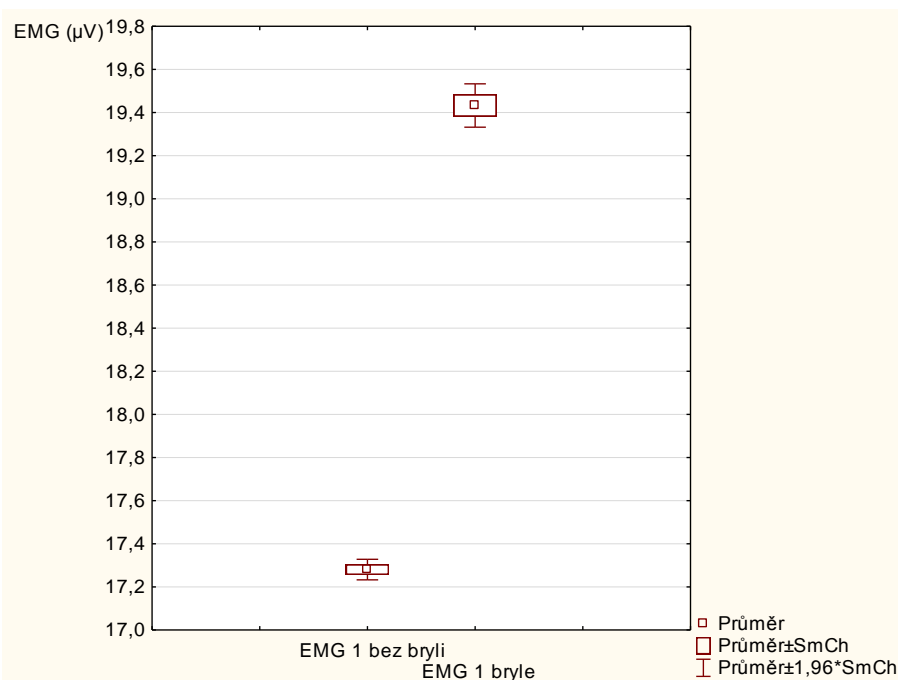
**Graf 6.** Vzájemný poměr EMG 1 a EMG 2 při práci operátora HT bez použití obličejové masky (výstup ze software Biofeedback) - osa x vyjadřuje časovou řadu, osa y vyjadřuje posuzované fyziologické faktory



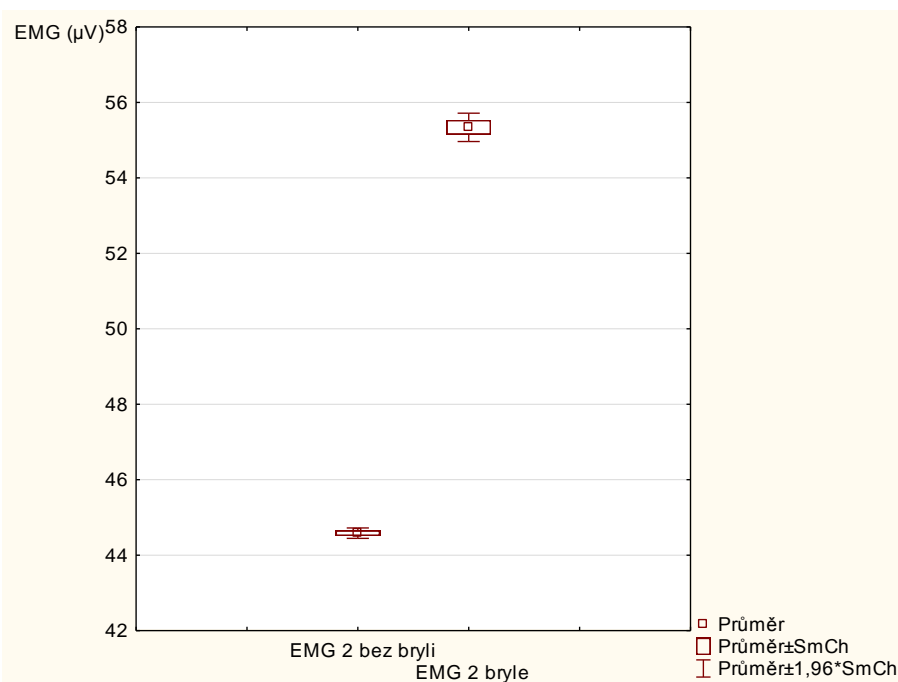
**Graf 7.** Vzájemný poměr EMG 1 a EMG 2 při práci operátora HT při použití obličejové masky (výstup ze software Biofeedback) - osa x vyjadřuje časovou řadu, osa y vyjadřuje posuzované fyziologické faktory

Z grafů 6 a 7 je dále patrné, že při použití obličejové masky dochází ke změně charakteristiky průběhu hodnot EMG. Zatímco bez masky vykazuje EMG hodnoty v průměru nižší, jejich rozptyl je větší. Při použití masky jsou hodnoty EMG více vyrovnané, ale dosahují vyšších průměrných hodnot. Vzájemné

rozložení hodnot EMG 1 a EMG 2 při použití masky a bez ní zobrazují rovněž graf 8 a 9.



**Graf 8.** Rozložení průměrných hodnot EMG 1 bez obličejové masky a s maskou (µV) (výstup ze software Statistica)



**Graf 9.** Rozložení průměrných hodnot EMG 2 bez obličejové masky a s maskou (µV) (výstup ze software Statistica)

### 5.2.3 Dílčí závěr

V rámci experimentu se podařilo prokázat, že při použití obličejové masky dochází ke statisticky významnému nárůstu hodnot EMG cílových svalových skupin. Z toho lze usuzovat, že za daných podmínek, při omezení zorného pole dochází ke zvýšené činnosti svalových skupin podílejících se na lokomoci hlavy. Tento předpoklad se podařilo prokázat jak u operátora HT, tak u vozky při přibližování dříví koněm a to na obou párových snímačích EMG 1 a EMG 2. Zároveň se ukázalo, že při omezení výhledu operátora HT dochází ke změně poměrů mezi hodnotami EMG 1 a EMG 2, přičemž větší nárůst vykazuje EMG 2, což lze vysvětlit lokalizací senzorů EMG 2 na svalových skupinách podílejících se na pohybech hlavy doleva a doprava. Tento jev se ovšem zatím nepodařilo statisticky ověřit a vyžaduje další experimentální měření.

Operátor byl v průběhu směny požádán o subjektivní pocit únavy očí na začátku, v průběhu a na konci směny a to jak s obličejovou maskou omezující výhled, tak bez ní. Operátor subjektivně nepocítil jinou, než běžnou únavu očního aparátu a nepocítil ani zvýšenou únavu zkoumaných svalových partií.

Hypotéza, že existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými údaji operátora při použití obličejové masky omezující zorné pole a bez ní, byla v rámci tohoto experimentu a za daných výrobně – technických podmínek **potvrzena**.

### **5.3 Komparace biometrických údajů operátora HT v pracovním prostředí s hudbou a bez ní**

Následující kapitola uvádí výsledky experimentu ve specifických podmínkách. Vliv hudby na pracovní prostředí a tím i na výkonost práce je problematikou zkoumanou již řadu let. Tomuto tématu se věnuje mnoho autorů. Výsledky této části experimentu ukazují vliv hudby na operátora HT.



### 5.3.1 Výrobně technické podmínky experimentu

#### *Stanoviště*

Měření probíhalo ve dvou porostních skupinách, z nichž první, o výměře 4,1 ha, byla smrková monokultura bez příměsí ve věku 129 let, o výčetní tloušťce 32 cm, střední porostní výšce 27 m, zakmenění 10 a průměrné hmotnosti 0,92 m<sup>3</sup>/kmen (viz příloha č. 4). Porost se nacházel v rokli, jejíž stěna měla sklon cca 40% a postupně přecházela až do roviny (0-5%).

Druhá porostní skupina o výměře 5,25 ha, byla rovněž smrková monokultura ve věku 110 let, o výčetní tloušťce 26 cm, střední porostní výšce 21 m, zakmenění 10 a průměrné hmotnosti 0,67 m<sup>3</sup>/kmen (viz příloha č. 5).

#### *Osoby účastnící se experimentu a mechanizační prostředky*

Měření při sortimentační metodě bylo prováděno při práci strojem Timberjack 1270 D, což je stroj vysoké výkonové třídy (viz příloha č. 8). Operátor, účastnící se experimentu byl ve věku 42 let s praxí 12 let.

### 5.3.2 Výsledky experimentu

V rámci experimentu bylo naměřeno celkem 210 000 biometrických údajů o EMG cílových svalových skupin. V souladu s předchozím výzkumem byl sběr dat a jejich následná analýza zaměřeny na EMG cílových svalových skupin. To znamená, že, obdobně jako v předchozích případech, bylo upuštěno od sběru a analýzy biometrických údajů o tělesné teplotě ve spánkové oblasti a tepové frekvenci.

Operátor účastnící se experimentu byl podroben měření v kabině harvestoru bez puštěné hudby, dále s hudbou relaxační dle vlastního výběru a s hudbou agresivní dle vlastního výběru. Hlasitost hudby byla v obou případech nastavena operátorem dle subjektivního pocitu tak, aby byla co nejvíce příjemná.

Každý úsek měření byl v délce trvání 15 minut. Měření bylo dále doplněno klidovou fází v délce trvání 5 minut, při které operátor seděl v kabině harvestoru a věnoval se četbě knihy tak, aby docházelo k co možná nejmenšímu pohybu těla

a hlavy, zejména posuzovaných svalových skupin. Klidová fáze nebyla zahrnuta do následné statistické analýzy z důvodu rozdílné délky trvání měření, byla posuzována pouze informativně a ve všech případech vykazovala nižší hodnoty, než při práci.

Naměřené hodnoty EMG 1 a EMG 2 byly v souladu s designem experimentu dále podrobeny Levenovu testu pro prokázání shodnosti rozptylů s potvrzením kladné hypotézy ve všech případech. Test shodnosti rozptylů ( $F$  – test) v rámci experimentu ukázal možnost zamítnutí nulové hypotézy pouze v případě srovnání bez hudby versus s hudbou relaxační na snímači EMG 2. Následná analýza souboru dat pomocí  $t$  – testu prokázala statisticky významný rozdíl u testu bez hudby versus hudba relaxační na snímači EMG 1. Test výsledků bez hudby versus hudba agresivní prokázal statistickou významnost rozdílu hodnot pouze na snímači EMG 2 a to na hladině významnosti 0,01. Ovšem vzhledem k výsledku testu shodnosti rozptylů nelze s výsledky testu dále počítat. Výsledky testů viz tabulky 10 a 11.

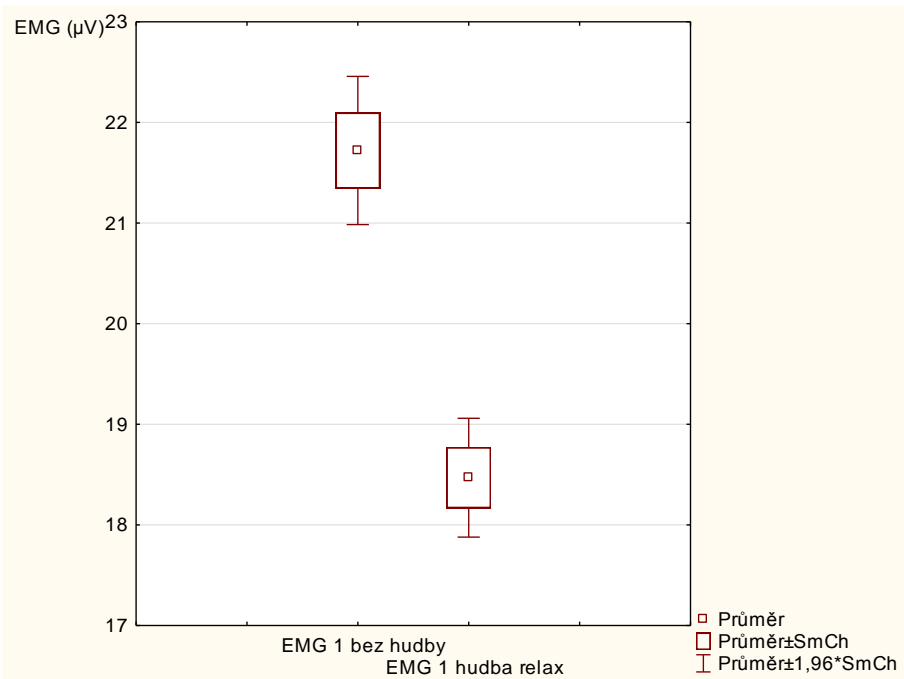
**Tab. 10.** Výsledek  $t$  - testu operátor HT bez hudby versus hudba relaxační

	$t$ (abs)	stupně volnosti (abs)	$p$	počet A (abs)	počet B (abs)	$F$ - poměr rozptyly	$p$ rozptyly
EMG 1	6,83	46610	0,001	24412	22200	1,187	0,619
EMG 2	-0,96	46610	0,337	24412	22200	6,098	0,001

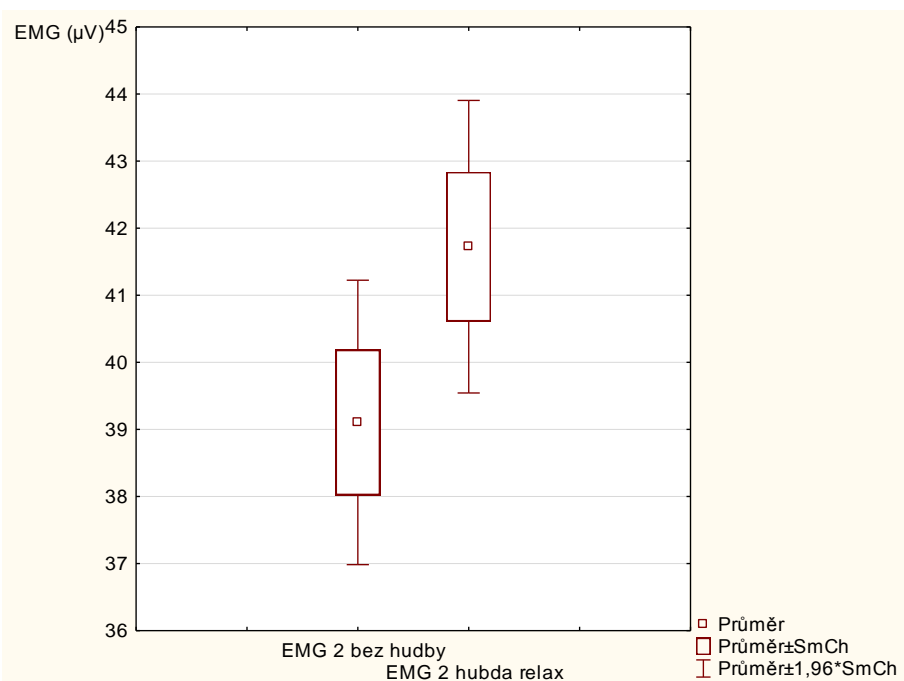
**Tab. 11.** Výsledek  $t$  - testu operátor HT bez hudby versus hudba agresivní

	$t$ (abs)	stupně volnosti (abs)	$p$	počet A (abs)	počet B (abs)	$F$ - poměr rozptyly	$p$ rozptyly
EMG 1	0,55	58448	0,584	26040	32410	1,185	0,657
EMG 2	7,66	58448	0,001	26040	32410	1,294	1,294

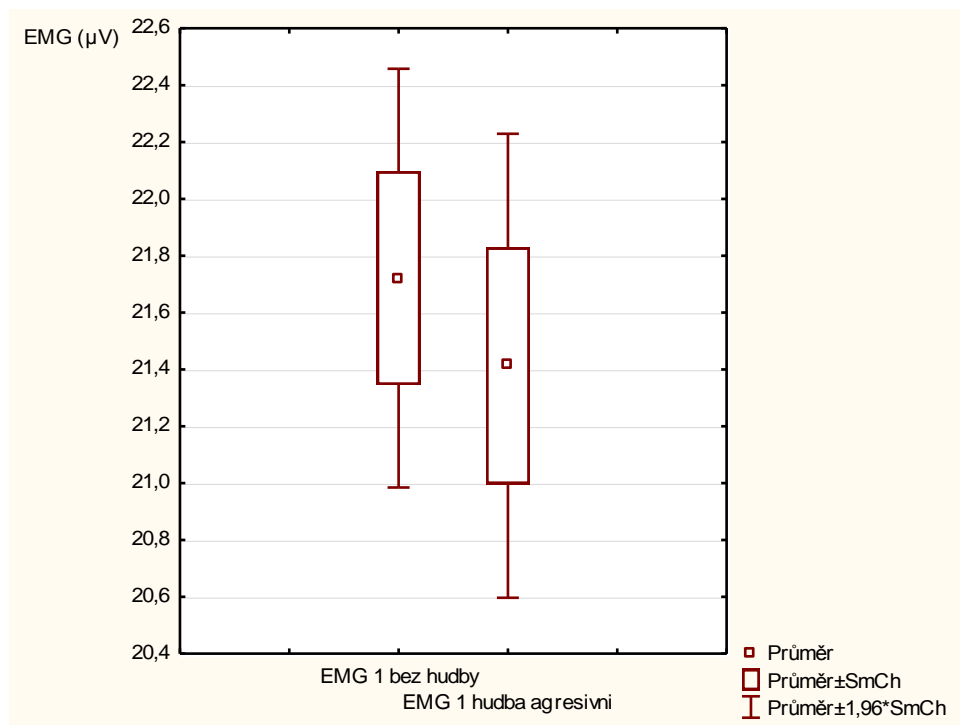
Rozložení hodnot naměřených v rámci experimentu ukazují grafy 10 a 11 pro testovací schéma bez hudby – hudba relaxační a 12 a 13 pro schéma bez hudby a hudba agresivní.



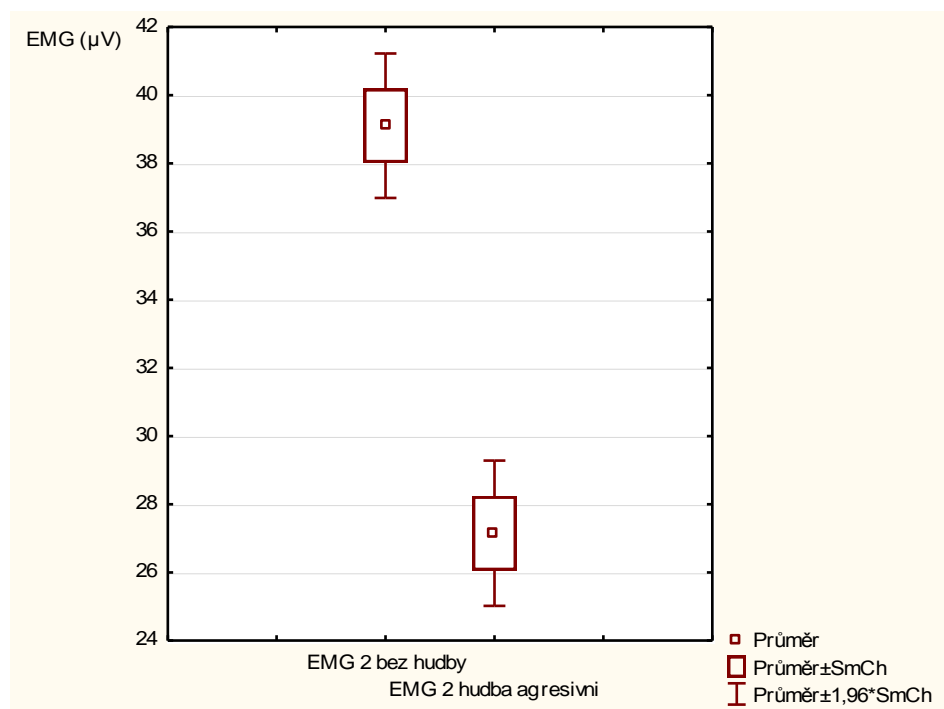
**Graf 10.** Rozložení průměrných hodnot EMG 1 bez hudby a s relaxační hudbou (μV) (výstup ze software Statistica)



**Graf 11.** Rozložení průměrných hodnot EMG 2 bez hudby a s relaxační hudbou (μV) (výstup ze software Statistica)



**Graf 12.** Rozložení průměrných hodnot EMG 1 bez hudby a s agresivní hudbou (μV) (výstup ze software Statistica)



**Graf 13.** Rozložení průměrných hodnot EMG 2 bez hudby a s agresivní hudbou (μV) (výstup ze software Statistica)

### 5.3.3 Dílčí závěr

V rámci experimentu bylo naměřeno více než 210 000 biometrických údajů o EMG cílových svalových skupin operátora HT v pracovním prostředí bez hudby, s hudbou relaxační a s hudbou agresivní. Cílem experimentu bylo posoudit vliv hudby na napětí posuzovaných svalových skupin a tím na celkovou pracovní pohodu operátora a výsledek dále interpretovat na vliv na výkonnost.

Při statistické analýze dat se podařilo prokázat statisticky významný rozdíl pouze ve dvou případech a to v případě bez hudby versus hudba relaxační na snímači EMG 1 a v případě bez hudby versus hudba agresivní na snímači EMG 2. Test shodnosti rozptylů ( $F$  – test) umožnil zamítnutí nulové hypotézy pouze v případě bez hudby versus hudba relaxační na snímači EMG 2, kde ovšem výsledek  $t$  – testu zamítnutí nulové hypotézy neumožnil.

Analýzou dat se v rámci experimentu nepodařilo prokázat vliv hudby na napětí posuzovaných svalových skupin. Negativní výsledek experimentu je možné přisoudit méně vhodné lokalizaci snímačů pro potřeby posouzení vlivu hudby na svalovou činnost. V rámci dalšího výzkumu je třeba navrhnout jiné možnosti umístění snímačů tak, aby vykazovaly vyšší vypovídací hodnotu.

Hypotézu, že existuje statisticky významný rozdíl mezi biometrickými hodnotami operátora HT v prostředí bez hudby a s hudbou se v rámci experimentu potvrdit **nepodařilo**.

## 6 Závěr

Během experimentu, který byl rozdělen do tří dílčích částí, bylo, pomocí zařízení Biofeedback 2000 Xpert naměřeno víc než 1,5 milionu biometrických údajů o tělesné teplotě, pulsu, a EMG cílových svalových skupin u tří operátorů HT, u vozky při přibližování dříví koněm a u dřevorubce při těžbě dříví MP, které byly dále posuzovány s hodnotami naměřenými při běžných lidských činnostech – běhu a volné chůzi.

V průběhu experimentu se ukázalo, že v prostředí lesní výroby je velice obtížné, pomocí zařízení Biofeedback získat nezkreslená data o teplotě a pulsu. Zvláště v zimním období silné oblečení, častý pohyb a náročné přírodní podmínky zásadně ovlivňovaly výsledky měření. S ohledem ke skutečnosti, že není možné opakovat měření výše zmíněných biometrických údajů tak, aby bylo dosaženo odpovídajících výsledků, bylo od jejich registrace a následné analýzy upuštěno. Naopak hodnoty EMG vykazovaly vysokou vypovídací hodnotu a zároveň opakovatelnost a tím i ověřitelnost výsledků, proto se v průběhu experimentu zaměřila pozornost na ně.

Experiment byl rozdělen do tří dílčích částí, které měly za úkol posoudit:

- a. vzájemné vztahy mezi biometrickými údaji operátora HT, vozky při přibližování dříví koněm, dřevorubce při těžbě JMP a při běhu a volné chůzi,
- b. vzájemné vztahy mezi biometrickými údaji operátora HT s nasazenou obličejovou maskou omezující zorné pole a bez ní,
- c. vzájemné vztahy mezi biometrickými veličinami operátora HT v prostředí bez hudby a s hudbou.

V rámci experimentu byla navržena metoda sběru a následné analýzy dat s přístrojem Biofeedback v prostředí lesní těžby včetně optimalizace instalace jednotlivých prvků zařízení. Tato metoda byla v průběhu experimentu dále zdokonalena tak, aby přinášela co nejpřesnější údaje vysoké vypovídací hodnoty.

Metodika sběru dat a jejich následné analýzy navržená v rámci experimentu se ukázala jako velmi vhodná pro danou problematiku. Zároveň byla v rámci experimentu navržena a ověřena metoda komparativní analýzy činnosti okohybných svalů s použitím obličejové masky omezující zorné pole ve vztahu se svalstvem účastníků se lokomočních pohybů hlavy. Tato maska byla rovněž navržena a úspěšně testována v rámci tohoto experimentu.

V rámci experimentu se podařilo prokázat statisticky významný rozdíl v hodnotách EMG posuzovaných svalových skupin u operátora HT, vozky při přibližování dříví koněm, u dřevorubce při těžbě dříví MP a při běhu a volné chůzi. Výsledek experimentu přinesl důležité a hodnotné informace o vztazích a vzájemných poměrech v elektrické aktivitě cílových svalových skupin posuzovaných lidských činností.

Metoda neinvazivního měření činnosti okohybných svalů a zátěže očního aparátu operátora je metodou novou, vyžadující další výzkum a optimalizaci, nicméně výsledky experimentu ověřily vhodnost a správnost směřování metody.

Analýza vlivu hudby na EMG posuzovaných svalových skupin operátora HT neprokázala v daných výrobních podmínkách statisticky významný rozdíl, což znamená, že se nepodařilo prokázat vliv hudby na EMG odezvu a tím na celkové napětí operátora. Pro další analýzu je třeba pokračovat v experimentech.

Experiment byl jedním z důležitých kroků vedoucích k přesnému utvoření představy o vlivu těžební techniky na člověka a o vztahu operátor – stroj ve smyslu fyziologicko - psychologickém. Interpretovat konkrétní výsledky je možné pouze pro dané stanovištní podmínky, konkrétního operátora a v daném čase, pro aplikaci výsledků do praxe jsou třeba další měření v různých podmínkách, k nimž dal tento experiment pevný základ ve smyslu kompletní fungující metodiky a jasné představy o dalším směřování výzkumu.

## 7 Seznam použité literatury

AKAY, A. E.; ERDAS, O.; SESSIONS, J.: Determining Productivity of Mechanized Harvesting Machines, *Journal of Applied Sciences* 4, 2004

ALLEN, M. M.: Soil Compaction and Disturbance Following a Thinning of Second-Growth Douglasfir with a Cut-to-Length and a Skyline System in the Oregon Cascades, Oregon State University, magisterská práce, 1998, nepublikováno

ANDRUSAITIS, S. F.; OLIVEIRA, P. R.; FILHO, T. B.: Study of the Prevalence and Risk Factors for Low Back Pain in Truck Drivers in the State of Sao paulo, Brasil, *Clinics* 61, 2006, str. 503 – 510

ARAMIDEH, M.; ONGERBOER DE VISSER, B. W.; DEVRIESE, P. P.; BOUR, L. J.; SPEELMAN, J. D.: Electromyographic features of levator palpebrae superioris and orbicularis oculi muscles in blepharospasm, *Journal of Neurology and Clinical Neurophysiology*, 25, 1993

ARMLOVICH, D.: Soil Compaction Study on a Cut-To-Length Mechanized Harvesting System, Oregon State University, magisterská práce, 1995, nepublikováno

ATHANASSIADIS, D.: Residual Stand Damage Following Cut-to-length Harvesting Operations with a Farm Tractor in Two Conifer Stands, *Silva Fennica* 32, 1997

ATTEBRANT, M.; WINKEL, J.; MATHIASSEN, S. E.; KJELLBERG, A.: Shoulder - arm muscle load and performance during kontrol operation in forestry machines, *Applied Ergonomics* 28, 1997, str. 85-97



AXELSSON, S. A.: The Mechanization of Logging Operations in Sweden and its Effect on Occupational Safety and Health, International Journal of Forest Engineering 9, 1998

AXELSSON, S.; PONTON, B.: New ergonomic problems in mechanized logging operations, International Journal of Industrial Ergonomics 5, 1990, str. 267-273

BOLDING, M. CH.; LANFORD, B. L.; KELLOGG, L. D.: Forest Reduction: Current Methods and Future Possibilities, 2003 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings, 2003

BOLDING, M. CH.; LANFORD, B. L.: Forest Fuel Reduction Through Energy Wood Production Using a Small Chipper / CTL Harvesting System, Graduate Research, School of Forestry and Wildlife Sciences, Auburn University, 2000

BULLEY, B.: Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder produktivity in commercial thinning, Institut Vanadium de Recherches en Genie Forestier, 1999

CARR, B.: Using laser technology for forestry and engineering applications, Compiler 10, str. 5-16, 1992

CISAK, E.; BADORA, J. CH.; ZWOLINSKI, J.; FATLA, A. W.; POLAK, J.; DUTKIEWICZ, J.: Risk of Tick – Borne Bacterial Diseases Among Workers of Roztoce National Park (South-eastern Poland), Agricultural Environmental Medicine, 12, 2005, str. 127 -132

CONRADIE, I. P.; GREENE, W. D.; MURPHY, G. E.: Value Recovery With Harvesters in Southeastern USA Pine Stands, 2003 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings, 2003

DECONCHAT, M.; BALENT, G.: Effets des perturbations du sol et de la mise en lumière occasionnées par l'exploitation forestière sur la flore à une échelle fine, *Annuelle de Forestriels Sciences* 58, 2001, str. 315 – 328

DOUDA, V.: *Nepříznivý vliv techniky na lesy*, VŠZ Praha, 1986

DREWS, E. S.; DOYAL, J. A.; HARTSOUGH, B. R.; KELLOGG, L. D.: *Harvester Forwarder and Harvester-Yarder Systems for Fuel Reduction Treatments*, Silva Fenica, 2001

DVOŘÁK, J.; MALKOVSKÝ, Z.; MACKŮ, J.: Influence of human factor on the time of work stages of harvesters and crane-equipped forwarders, *Journal of Forest Science*, 2008, roč. 54, č.1, str. 24 – 30.

DVOŘÁK, J.; FRANC, J.; VALDMAN, S.: *Cvičení z lesnické mechanizace*, CZU v Praze, 2006, str. 87-121

DVOŘÁK, J.: *Harvestorové technologie a podmínky pro jejich nasazení v lesním hospodářství*, publikováno ve sborníku *Harvestorové technologie v lesním hospodářství v rámci programu SAPARD*, ČZU v Praze, 2004, str. 12 – 25.

EVANSON, T.; McCONCHIE, M.: Productivity Measurements of Two Waratah 234 Hydraulic Tree Harvesters in Radiata Pine in New Zealand, *Journal of Forest engineering* 41, 1996

FIGHT, R. D.; HARTSOUGH, B. R.; NOORDJIK, P.: *Users Guide for FRCS: Fuel Reduction Cost Simulator Software*, United States Department of Agriculture, 2006

FLEICHMAN, J.; LINC, R.: *Anatomie člověka I*, Státní pedagogické nakladatelství, 1972

FURNHAM, A.; BRADLEY, A.: Music While You Work: The Differential Distraction of Background Music on the Cognitive Test Performance of Introverts and Extraverts, *Journal of Applied Cognitive Psychology* 11, 1997, str. 445 - 455

GALLAGHER, G.; O'CARROL, J.: Forecast of roundwood production from the forests of Ireland 2001–2015, National Council for Forest Research and Development, Ireland., 2001

GALLIS, CH.: Work-related prevalence of musculoskeletal symptoms among Greek forest workers, *International Journal of Industrial Ergonomics* 36, 2006 str. 731–736

GELLERSTEDT, S.: Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work, *International Journal of Forest Engineering* 13, 2002

GELLERSTEDT, S.: Mechanised cleaning of young forest - The strain on the operator, *International Journal of Industrial Ergonomics* 20, 1997, str. 137 – 143

GINGRAS, J. F.: Early Studies of Multi-Tree Handling in Eastern Canada, *International Journal of Forest Engineering* 18, 2004

GLÖDE, D.; SIKSTRÖM, U.: Two Felling Methods in Final Cutting of Shelterwood, Single-Grip Harvester Productivity and Damage to the Regeneration, *Silva Fennica* 35, 2001

GOLYAKEVICH, S. A.; GORONOVSKI, A. R.: Operational Effectiveness of Multipurpose Logging Machinery Considering Limiting Factors, Wood and Woodworking Industry, *Proceedings of BSTU Conference, Issue 2*, 2012

GROSS, J.: Těžba dřeva z porostů poškozených imisemi, *Lesnická práce*, 1988

HAGBERG, M.: Clinical assessment of musculoskeletal disorders in workers exposed to hand-arm vibration, *Environ Health*, 2002, str. 97- 105

HAN, S. H.: Soil Compaction Associated with Cut – to – Length and Whole – Tree Harvesting of a Coniferou Forest, NRC Research Press, 2009

HAN, S. H.; DUMROESE, D. P.; HAN, S. K.; TIROCKE, J.: Effects of Slash, Machine Passes, and Soil Moisture on Penetration Resistance in a Cut-to-length Harvesting, *International Journal of Forest Engineering* 11, 2006

HAN, S. H.: Impacts on Soils From Cut – to – Length and Whole Tree Harvesting, University of Idaho, magisterská práce, 2006, nepublikováno

HAN, S. H.; KELLOG, L. D.: Damage Characteristics in Young Douglas-fir Stands from Commercial Thinning with Four Timber Harvesting Systems, Department of Forest Engineering, College of Forestry, Oregon State University Paper, 2000

HEINIMANN, H. R.: Productivity of a cut-to-length harvester family - an analysis based on operation data, 2001 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings, 2001

HELLSTRÖM, T: Autonomous Navigation for Forest Machines, Umea University of Sweden, 2002, 60 s.

HELLSTRÖM, B.; ANDERSEN, K. L.: Vibration injuries in Norwegian forest workers, *British Journal of industry*, 1972, str. 255-263

HLADKÝ, A.: Prevence stresu v práci: strategie vládních orgánů v Evropských zemích, *Psychologie v ekonomické praxi*, 2005, 1-26.

HORN, R; VOSSBRINK, J.; PETH, S.; BECKER, S.: Impact of Modern Forest Vehicles on Soil Physical Properties, Christian Albrechts Universitat zu Kiel, 2007

HUANG, R. H.; SHIH, Y. N.: Effects of background music on concentration of workers, *Work* 38, 2009, str. 383 - 387

HUYLER, N. K.; LeDOUX, CH. B.: Performance of a Cut-to-Length Harvester in a Single – tree and Group – Selection Cut, United States Department of Agriculture, Research Paper, 1999

HYYPA, H.; LITKEY, P.; YU, X.; HAGGRÉN, H.; RONNHOLM, P.; PYYSALO, U.; PITKANEN, J.; MALTAMO, M.: Algorithms and methods of airborne laser scanning for forest measurements, Proceedings of the NatScan conference, October 3 - 6, 2004, Freiburg

HYYPPA, J.; HYYPPA, H.; LECKIE, D.; GOUGEON, F.; YU, X.; MALTAMO, M.: Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests, *International Journal of Remote Sensing*, 2007

CHARANTE, A.W.; GROEN, H.; MULDER, P.G.; RIJPKEMA, P.G.; OSTERHAUS, A.: Occupational Risks of Zoonotic Infection in Dutch Forestry Workers and Muskrat Catchers, *European Journal of Epidemiology* 14, 1998, str. 109 – 116

JANEČEK, A.: Lesnická mechanizace, ČZU v Praze, 2002, 248 s.

JIROUŠEK, R.; KLVAČ, R.; SKOUPÝ, A.: Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations, *Journal of Forest Science* 53, 2007

JUTILA, J.; KANNAS, K.; VISALA, A.: Tree Measurement in Forest by 2D Laser Scanning, International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Jacksonville, 2007

KALLIOVIRTA, J.; LAASASENAHO, J.; KANGAS, A.: Evaluation of the Laser-relascope, *Forest Ecology and Management* 204, str. 181-194, 2005

KÄRHÄ, K.: Effect of undergrowth on the harvesting of first-thinning wood, *Metsanduslikud Unrinused* 45, 2006

KELLOGG, L. D.; BETTINGER, P.: Thinning Productivity and Cost for a Mechanized Cut-to-Length System in the Northwest Pacific Coast Region of the USA, *Journal of Forest Engineering* 43, 1994

LAGESON, H.: Effects of Thinning Type on the Harvester Productivity and on the Residual Stand, *Journal of Forest Engineering* 7, 1997

LANDRIGAN, P. J.: Improving the Surveillance of Occupational Disease, *American Journal of Public Health* 78, 1989

LASÁK, O; NĚMEC, K.: Víceoperační těžebně-dopravní stroje (TDS) v ČR, *Lesnická práce*, vol. 74, no. 11, 1996, str. 402 - 403.

LAURIER, J. P.; BARATON, M.; CAPELIER, J.: Machines de bûcheronnage: Panorama du parc français des matériels et examen de son évolution de 1980 à 2002, *Projet SY55, Convention DGFAR/AFOCEL*, 2002

LEDOUX, CH. B.; HUHLER, N. K.: Comparison of Two Cut-to-Length Harvesting Systems Operating in Eastern Hardwoods, *Journal of Forest Engineering* 53, 2001

LEDOUX, CH. B.; HUHLER, N. K.: Cost Comparisons for Three Harvesting Systems Operating in Northern Hardwood Stands, *United States Department of Agriculture, Research Paper NE-715*, 2000

LEIGH, J.; MACASKILL, P.; KUOSMA, E.; MANDRYK, J.: Global Burden of Disease and Injury Due to Occupational Factors, *Journal of Epidemiology* 10, 1999

LESIUK, T.: The effect of music listening on work performance, Journal of Psychology of Music 33, 2005, str. 173 - 191

LEVY, B. S.; WAGNER, G. R.; REST, K. M.; WEEKS, J. L.: Preventing Occupational Disease and Injury, American Public Health Association, Washington, 2005

LIBMECK, B.: Residual Stand Damage Caused by Mechanized Harvesting Systems, Proceedings of the Austro 2003 Meetings, 2003

MACKŮ, J.: Biometrical Analysis of Operators in cut-to-length Harvesters-Data Collection and Analysis Methodology Using the Biofeedback 2000xpert Device, COYOUS 2011

MACKŮ, J.: Analýza svalového napětí krčních a bederních svalů a svalů zad operátora harvesterové technologie pomocí přístroje Biofeedback 2000 Xpert, Závěrečná zpráva IGA 2011, nepublikováno

MARSHALL, H. D.; MURPHY, G. E.; BOSTON, K.: Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical harvesters and processors operating in pine stands, NRC Canada, 2006

McDONALD, T. P.; SEIXAS, F.: Effect of Slash on Forwarder Soil Compaction, Journal of Forest Engineering 15, 2007

McNEEL, J. F.; RUTHENFORD, D.: Modelling Harvester-Forwarder System Performance in a Selection Harvest, Journal of Forest Engineering 7, 1994

MELKAS, T.; VASTARANTA, M.; HOLOPAINEN, M.: Accuracy and Efficiency of the Laser Camera, SilvaLaser, 2008

MENG, W.: Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte – Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Schriftenreihe der LFV Baden- Württemberg, 1978. 159 p.

MIRANDA, H.; VIIKARI, E.; MARTIKAINEN, R.; TAKALA, P.; RIIHIMAKI, H.: Physical exercise and musculoskeletal pain among forest industry workers, Scandinavia Journal of Medicine Science issue 11, 2001, str. 239 – 246

MITCHELL, D. L.; GALLAGHER, T. V.; THOMAS, R. E.: The Human Factors of Implementing Shift Work in Logging Operations, Journal of Agricultural Safety and Health 14(4): 391-404

MORAVEC, P.: Výuka a příprava operátorů těžebně dopravních strojů, publikováno ve sborníku Harvesterové technologie v lesním hospodářství v rámci programu SAPARD, ČZU v Praze, 2004, str. 38 - 44.

NAKAGAWA, M.; HAMATSU, J.; SAITOU, T.; ISHIDA, H.: Effect of Tree Size on Productivity and Time Required for Work Elements in Selective Thinning by a Harvester, Journal of Forest Research, 1993

NAYATARA, S.; DUFFY, J. F.; HOROWITZ, T. S.; CZEISLER, CH. A.: Scheduling of sleep/darkness affects the circadian phase of night shift workers, Neuroscience Letters 384 (2005) 316–320

NABUURS, G. J.; PUSINEN, A.; BRUSSELEN, J.; SCHELHAAS, M. J.: Future Harvesting Pressure on European Forests, Eur J Forest Res, 2007, 126, str. 391 – 400.

NURMINEN, T.; KARPUNEN, H.; UUSITALO, J.: Applying the Activity-Based Costing to Cut-to-Length Timber Harvesting and Trucking, Silva Fennica 43, 2009



NURMINEN, T.; KARPUNEN, H.; UUSITALO, J.: Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System, The Finnish Society of Forest Science, 2006, Silva Fennica 40 (2) str. 335 – 363.

OVASKAINEN, H.; UUSITALO, J.; VÄÄTÄINEN, K.: Characteristics and Significance of a Harvester Operators' Working Technique in Thinnings, International Journal of Forest Engineering 15, 2004

PLAMONDON, A. P.: Augmentation de la concentration des sédiments en suspension suite à l'exploitation forestière et durée de l'effet, Département d'aménagement et de sylviculture, Université Laval, Canadien paper, 1982

PUTTOCK, D.; SPINELLI, R.; HARTSOUGH, B. R.: Operational Trials of Cut-To Length Harvesting of Poplar in a Mixed Wood Stand, International Journal of Forest Engineering, 2005

PYYKKO, I.; FÄRKILÄ, M.; INABA, R.; STRACK, J.; PEKKARINEN, J.: Effect of Hand – Arm Vibration on Inner Ear and Cardiac Functions in Man, Nagoya Journal of Medical Science, 57, 1994, str. 113 – 119

PYYKKO, I.; KORHONEN, O.; FÄRKILÄ, M.; STARCK, J.; AATOLA, S.; JANTTI, V.: Vibration Syndrome Among Finnish Forest Workers a follow up from 1972 – 1983, Scandinavian Journal of Environmental Health 12, 1986, str. 307 - 312

ROTARU, C.: Les Phénomènes de tassement du sol forestier dus à l'exploitation mécanisée du bois, Centre technique du bois, Paris, 1985

SEBERA, J.: Assessment of non-wood-producing functions of the forest as forest services to the public, Journal of Forest Science, 50, 2004, str. 292–299

ŠIŠÁK, L.: Oceňování společenské sociálně-ekonomické významnosti základních funkcí lesa, Zpráva Ministerstva Zemědělství – obor lesního hospodářství, 2002

TAYLOR, S. E.; McDONALD, T. P.; MATTHEW, W. V.; GRIFT, T. E.: Using GPS to Evaluate Productivity and Performance of Forest Machine Systems, Prezentace při prvním světovém sympoziu přesného lesnictví, Seattle, Washington, USA, 2001, 10 s.

TOIBANA, N.; SAKAKIBARA, H.; HIRATA, M.; KONDO, T.; TOYOSHIMA, H.: Thermal Perception Threshold Testing for the Evaluation of Small Sensory Nerve Fiber Injury in Patients with Hand-Arm Vibration Syndrome, Journal of Industrial Health, 38, 2000, str. 366 – 371

TOMSIKOVA, E.: Analýza pracovní zátěže, Diplomová práce, FF Masarykovy Univerzity, 2007, nepublikováno

STAMPFER, K.; STEINMÜLLER, T.: A New Approach To Derive A Productivity Model for the Harvester “Valmet 911 Snake”, The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, 2001

STAMPFER, K.: Influence of Terrain Conditions and Thinning Regimes on Productivity of a Track – Based Steep Slope Harvester, Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, 1999

SULLMAN, M.; GELLERSTEDT, S.: Indigenous forest and scrubland: preliminary evidence of a major increase in recorded area, N.Z. Forestry, 1997

ULRICH, R.; ACHLAGHAMERSKÝ, A.; ŠTOREK V.: Použití harvestorové technologie v probírkách, MZLU Brno, 2002, 98 s.

ULRICH, R.: Stroje a technologie pro těžební výrobu, MZLU Brno, 1989, 100 s.

VISSER, R.; SPINELLI, R.; SAATHOF, J.; FAIRBROTHER, S.: Finding the 'Sweet-Spot of Mechanised Felling Machines, Forest Operation Research, Italy, 2009

VOSAHLIK, K.: Stres a jeho vliv na pracovní výkon, Bakalářská práce, FF Masarykovy Univerzity, 2009, nepublikováno

VYSKOT, I.: Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky, pro MŽP vydalo 131 MARGARET, 2003, 174 s.

WÄSTERLUND, D. S.: Heat Stress in Forestry Workers, Acta Universitatis Agriculturae Suecia, Silvestria 213, 2001

WILDEMAN, J.: The Technological and Managerial History of Innovation in British Columbia's Forest Industry, FRST 497, 2011

Manuál Lesnická obchodní s.r.o.

Manuál Komatsu forest

Internetové odkazy:

[www.ronnie.cz](http://www.ronnie.cz), <http://.ronnie.cz/fotogalerie?s&strana=16>, citováno 11. 5. 2012

Technické specifikace harvestoru Rottne H20, katalog Reparoservis, citováno: 20. 4. 2014, dostupné z:

[http://www.lesnitechnika.cz/Assets/PDF/Harvestory/2011\\_A5\\_ROTTNE\\_H20\\_CZ.pdf](http://www.lesnitechnika.cz/Assets/PDF/Harvestory/2011_A5_ROTTNE_H20_CZ.pdf)

Technické specifikace harvestoru Rottne 5005, katalog Reparoservis, citováno: 20. 4. 2014, dostupné z:

[http://www.lesnitechnika.cz/Assets/PDF/Harvestory/2011\\_A5\\_ROTTNE\\_5005\\_CZ.pdf](http://www.lesnitechnika.cz/Assets/PDF/Harvestory/2011_A5_ROTTNE_5005_CZ.pdf)

Technické specifikace harvestoru Timbetjack 1270 D, katalog Merimex, citováno: 24. 4. 2014, dostupné z:

<http://www.merimex.cz/produkty/john-deere/starsi-modely/harvestory/rada-d/timberjack/john-deere-1270d/>

Články autora DP:

DVOŘÁK, J.; MALKOVSKÝ, Z.; MACKŮ, J.: Influence of Human Factor on the Time of Work Stages of Harvesters and Crane-equipped Forwarders, Journal of Forest Science, 2008, roč. 54, č.1, str. 24 – 30

MACKŮ, J.: Biometrical Analysis of Operators in cut-to-length Harvesters-Data Collection and Analysis Methodology Using the Biofeedback 2000xpert Device, COYOUS 2011

MACKŮ, J.: Analýza svalového napětí krčních a bederních svalů a svalů zad operátora harvestorové technologie pomocí přístroje Biofeedback 2000 Xpert, závěrečná zpráva IGA 2011, nepublikováno

MACKŮ, J.: Analýza vlivu psychického stresu a únavy operátora na výkonnost harvestorové technologie, závěrečná zpráva IGA 2010, nepublikováno

MACKŮ, J.: Analýza spotřeby času harvestorů v nahodilých těžbách, COYOUS 2010

MACKŮ, J.; DVOŘÁK, J.: A Comparative Analysis of Neck Muscle Tension in a Harvester Operator Compared with Chainsaw and Horse Skidding Operator and with Normal Human Activities, Journal of Forest Science, 59, 2013, str.: 301 - 305

MACKŮ, J.; DVOŘÁK, J.: The Comparative Analysis of Eye Muscles Load on Cut – to – Length Harvester Operators, Data Collection Methodology, Woodworking Techniques Conference Paper, 2011

MACKŮ, J.; DVORŽÁK, J.: Time Expenditure Analysis of Cut – to –Length Harvesters in Incidental Fellings Compared with Production Efficiency, conference paper, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, FORMEC 2010, July 11 – 14, 2010, Padova – Italy, 2010

PÍŠEK, P.; NATOV, P.; MACKŮ, J.; NATOVOVÁ, L.: Case Study of Workers in Forest Harvesting: An Ergonomic Perspective, Croatian Journal of Forest Engineering, nepublikováno, zasláno 4.1.2014, probíhá recenzní řízení

## **Přílohy**

### ***Seznam příloh***

1. Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací číslo 1
2. Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací číslo 2
3. Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací číslo 3
4. Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací číslo 4
5. Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací číslo 5
6. Technické specifikace harvestoru Rottne 5005
7. Technické specifikace harvestoru Rottne H20
8. Technické specifikace harvestoru Timberjack 1270 D
9. Vzor datového výstupu ze zařízení BFB
10. Vzor klíčování dat
11. CD s disertační prací v elektronické podobě



## Příloha č. 1 - Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací

Číslo formuláře: 1

### A. Porostní charakteristika:

- Plocha porostu (ha): 6,2
- Věk: 130
- Zakmenění před zásahem z LHP: 10
- Dřeviny a jejich zastoupení: SM (95%) BK (4%) BR (1%)
- Výčetní tloušťky dřevin (cm): 30
- Střední výšky dřeviny (m): 28
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>): 0,93

### B. Charakteristika terénních podmínek:

- Sklon terénu (%): 10
- Období těžby: prosinec
- Náchylnost k erozi: minimální
- Únosnost půdy: únosný
- Průjezdnost terénu: bez překážek
- Členitost terénu: malá
- Stav povrchu půdy: zmrzlý, mírný pokryv sněhem (do 5 cm)

### C. Charakteristika těžebního zásahu

- Druh těžby: úmyslná mýtní
- Dřevina: SM, BK, BR
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>/kmen): 0,93
- Síla zásahu (%): 100

### D. Technologická charakteristika:

- Vzdálenost a umístění OM (m): do 400 m
- Zpřístupnění nitra porostu: pravidelné linky



- Délka přibližovacích linií (m): do 1,2 km
- Těžební metoda: sortimentní
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu: harvester, vyvážecí traktor
- Vrstva klestu na linkách (cm): do 10 cm

## Příloha č. 2 - Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací

Číslo formuláře: 2

### A. Porostní charakteristika:

- Plocha porostu (ha): 4
- Věk: 110
- Zakmenění před zásahem z LHP: 10
- Dřeviny a jejich zastoupení: SM (97%) Br (2%) OL (1%)
- Výčetní tloušťky dřevin (cm): 25
- Střední výšky dřeviny (m): 20
- Průměrná hmotnatost dřevin (m<sup>3</sup>): 0,63

### B. Charakteristika terénních podmínek:

- Sklon terénu (%): 30
- Období těžby: prosinec
- Náchylnost k erozi: střední
- Únosnost půdy: únosný
- Průjezdnost terénu: bez překážek
- Členitost terénu: střední
- Stav povrchu půdy: zmrzlý, mírný pokryv sněhem (pod 5 cm)

### C. Charakteristika těžebního zásahu

- Druh těžby: předmýtní úmyslná
- Dřevina: SM
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>/kmen): 0,63
- Síla zásahu (%): 30 %

### D. Technologická charakteristika:

- Vzdálenost a umístění OM (m): do 200 m
- Zpřístupnění nitra porostu: vyvážecí linky

- Délka přibližovacích linií (m): -
- Těžební metoda: kmenová
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu: motorová pila, SLKT - bubnový naviják
- Vrstva klestu na linkách (cm): -

## Příloha č. 3 - Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací

Číslo formuláře: 3

### A. Porostní charakteristika:

- Plocha porostu (ha): 4,5
- Věk: 60
- Zakmenění před zásahem z LHP: 10
- Dřeviny a jejich zastoupení: SM (100%)
- Výčetní tloušťky dřevin (cm): 17
- Střední výšky dřevin (m): 12
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>): 0,38

### B. Charakteristika terénních podmínek:

- Sklon terénu (%): 30 - 40
- Období těžby: prosinec
- Náchylnost k erozi: značná
- Únosnost půdy: únosný
- Průjezdnost terénu: překážkový
- Členitost terénu: značná
- Stav povrchu půdy: zmrzlý, pokryv sněhem (20 cm)

### C. Charakteristika těžebního zásahu

- Druh těžby: předmyslní úmyslná
- Dřevina: SM
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>/kmen): 0,38
- Síla zásahu (%): 20

### D. Technologická charakteristika:

- Vzdálenost a umístění OM (m): do 1000 m
- Zpřístupnění nitra porostu: bez linek

- Délka přibližovacích linií (m): -
- Těžební metoda: kmenová
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu: motorová pila, kůň
- Vrstva klestu na linkách (cm): -

## Příloha č. 4 - Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací

Číslo formuláře: 4

### A. Porostní charakteristika:

- Plocha porostu (ha): 4,1
- Věk: 129
- Zakmenění před zásahem z LHP: 10
- Dřeviny a jejich zastoupení: SM (100%)
- Výčetní tloušťky dřevin (cm): 32
- Střední výšky dřevin (m): 27
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>): 0,92

### B. Charakteristika terénních podmínek:

- Sklon terénu (%): proměnlivý 0 - 40
- Období těžby: září
- Náchylnost k erozi: střední
- Únosnost půdy: podmíněně únosná
- Průjezdnost terénu: bez překážek
- Členitost terénu: velká
- Stav povrchu půdy: vysoká vlhkost, místy zamokření, náchylnost k tvorbě erozních rýh

### C. Charakteristika těžebního zásahu

- Druh těžby: úmyslná mýtní
- Dřevina: SM
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>/kmen): 0,92
- Síla zásahu (%): 100

### D. Technologická charakteristika:

- Vzdálenost a umístění OM (m): do 900m
- Zpřístupnění nitra porostu: pravidelné linky

- Délka přibližovacích linií (m): do 400 m
- Těžební metoda: Sortimentní
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu: harvester, vyvážecí traktor
- Vrstva klestu na linkách (cm): 10 - 20 cm

## Příloha č. 5 - Formulář popisu pracoviště a těžebně – dopravních operací

Číslo formuláře: 5

### A. Porostní charakteristika:

- Plocha porostu (ha): 5,25
- Věk: 110
- Zakmenění před zásahem z LHP: 10
- Dřeviny a jejich zastoupení: SM (100%)
- Výčetní tloušťky dřevin (cm): 26
- Střední výšky dřevin (m): 21
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>): 0,67

### B. Charakteristika terénních podmínek:

- Sklon terénu (%): proměnlivý 0 – 5
- Období těžby: září
- Náchyllost k erozi: střední
- Únosnost půdy: podmíněně únosný
- Průjezdnost terénu: bez překážek
- Členitost terénu: malá
- Stav povrchu půdy: vysoká vlhkost, místy zamokření, náchyllost k tvorbě erozních rýh

### C. Charakteristika těžebního zásahu

- Druh těžby: úmyslná předmýtní výchovná
- Dřevina: SM
- Průměrná hmotnatost dřeviny (m<sup>3</sup>/kmen): 0,67
- Síla zásahu (%): 30

### D. Technologická charakteristika:

- Vzdálenost a umístění OM (m): do 800
- Zpřístupnění nitra porostu: pravidelné linky



- Délka přibližovacích linií (m): do 400
- Těžební metoda: sortimentní
- Mechanizační prostředky použité při těžebně dopravních operacích v porostu: harvester, vyvážecí traktor
- Vrstva klestu na linkách (cm): 10 cm

## Příloha č. 6 – Technické specifikace harvestoru Rottne 5005

zdroj: katalog Reparoservis

### Specifikace motoru

objem válců:	6 800 cm <sup>3</sup>
kroučící moment při 1400 otáčkách za minutu:	809 Nm
výkon při 2200 otáčkách za minutu:	149 kW (200 Hp)

### Specifikace kácecí hlavice

maximální úřez:	550 mm
odvětvení:	50 – 450 mm
síla podávacích válců:	22 kN
rychlost posuvu:	3,4 m/s
hmotnost:	900 kg

### Specifikace hydromanipulátoru

dosah:	10,3 m
zvedací síla:	150 kNm
celková hmotnost stroje:	15 000 kg

## Příloha č. 7 – Technické specifikace harvestoru Rottne H20

zdroj: katalog Reparoservis

### Specifikace motoru

objem válců:	8 010 cm <sup>3</sup>
kroučící moment při 1400 otáčkách za minutu:	1 095 Nm
výkon při 2200 otáčkách za minutu:	187 kW (250 Hp)

### Specifikace kácecí hlavice

maximální úřez:	750 mm
odvětvení:	50 – 700 mm
síla podávacích válců:	27 kN
rychlost posuvu:	3,7 m/s
hmotnost:	1 400 kg

### Specifikace hydromanipulátoru

dosah:	10 m
zvedací síla:	254 kNm
celková hmotnost stroje:	23 000 kg

## Příloha č. 8 – Technické specifikace harvestoru Timberjack 1270 D

zdroj: katalog Merimex

### Specifikace motoru

objem válců:	6 081 cm <sup>3</sup>
krouťící moment při 1400 otáčkách za minutu:	1 100 Nm
výkon při 2200 otáčkách za minutu:	160 kW (250 Hp)

### Specifikace kácecí hlavice

maximální úřez:	620 mm
odvětvení:	50 – 650 mm
síla podávacích válců:	27,8 kN
rychlost posuvu:	4 m/s
hmotnost:	930 kg

### Specifikace hydromanipulátoru

dosah:	11,5 m
zvedací síla:	178 kNm
celková hmotnost stroje:	17 000 kg

**Příloha č. 9 - Vzor datového výstupu ze zařízení BFB**

Tab. x – Vzor výstupu ze zařízení BFB, vteřina představuje 4 x 40 hodnot				
Čas (ns)	EMG 1 (μV)	EMG 2 (μV)	Teplota (°C)	Puls (bpm)
00:00:00.000	21,7140661	26,61414297	34,27	50,73260073
00:00:00.025	21,7140661	26,61414297	34,27	50,71428571
00:00:00.050	22,86702537	29,97694081	34,27	50,71428571
00:00:00.075	23,25134512	32,28285934	34,27	50,54945055
00:00:00.100	24,01998463	35,54957725	34,27	50,45177045
00:00:00.125	24,2121445	37,27901614	34,27	50,42735043
00:00:00.150	24,2121445	37,27901614	34,27	50,42735043
00:00:00.175	24,59646426	41,12221368	34,27	50,35409035
00:00:00.200	24,78862414	43,13989239	34,27	50,17704518
00:00:00.225	24,78862414	43,13989239	34,27	50,17704518
00:00:00.250	24,2121445	43,42813221	34,27	50,09004884
00:00:00.275	23,49154497	43,42813221	34,27	49,96451465
00:00:00.300	23,49154497	43,42813221	34,27	49,91510226
00:00:00.325	22,98712529	42,37125288	34,27	49,89635798
00:00:00.350	21,79213105	38,84031514	34,27	49,89635798
00:00:00.375	21,08053901	36,81062644	34,27	49,89635798
00:00:00.400	20,34042323	34,64282283	34,27	49,83062185
00:00:00.425	20,34042323	34,64282283	34,27	49,81152582
00:00:00.450	19,68212553	32,40596176	34,27	49,74225874
00:00:00.475	18,61192262	27,8459178	34,27	49,74225874
00:00:00.500	18,14531565	25,6447114	34,27	49,73071423
00:00:00.525	17,41104067	22,2643677	34,27	49,7708959
00:00:00.550	17,41104067	22,2643677	34,27	49,70840277
00:00:00.575	17,25663486	22,37353666	34,27	49,67715621
00:00:00.600	17,2755119	23,38892052	34,27	49,67715621
00:00:00.625	17,28495041	24,95349177	34,27	49,62930126
00:00:00.650	17,43614921	28,72107855	34,27	49,64981547
00:00:00.675	17,43614921	28,72107855	34,27	49,56141602
00:00:00.700	17,46134901	30,79020876	34,27	49,56703279
00:00:00.725	17,47394891	32,97773313	34,27	49,56703279
00:00:00.750	17,57947877	37,5968545	34,27	49,58345539
00:00:00.775	17,72517367	39,93601372	34,265	49,59026249
00:00:00.800	17,70194118	41,68207296	34,265	49,55703601
00:00:00.825	17,70194118	41,68207296	34,265	49,53822115

Příloha č. 10 - Vzor klíčování úseků pracovní operace v čase

ID	jízda [s]	trvání [s]	kácení [m:s]	trvání [s]	krácení [m:s]	trvání [s]
1	x	0	2:19-2:47	28	2:47-3:26	39
2	3:26-3:58	32	3:58-4:40	42	4:40-5:30	50
3	5:30-5:42	12	5:42-5:55	13	5:55-6:18	23
4	6:18-6:23	5	6:23-6:50	37	6:50-7:24	34
5	7:24-7:32	8	7:32-7:46	14	7:46-8:12	26
6	8:12-8:16	4	8:16-8:37	21	8:37-9:20	43
7	x	0	9:20-9:44	24	9:44-10:22	38
8	10:22-10:44	22	10:44-11:00	16	11:00-11:40	40
9	x	0	11:40-11:57	17	11:57-12:17	20
10	12:17-12:29	12	12:29-12:39	10	12:39-12:50	11
11	x	0	12:50-13:13	23	13:13-13:45	32
12	13:45-14:11	26	14:11-14:24	13	14:24-14:51	27
13	14:51-15:05	14	15:05-15:22	17	15:22-16:00	38
14	x	0	16:00-16:22	22	16:22-17:17	55
15	17:17-17:30	13	17:30-17:44	14	17:44-18:34	50
16	x	0	18:34-18:54	20	18:54-19:22	28
17	x	0	19:22-19:45	23	19:45-20:07	22
18	x	0	20:07-20:49	42	20:49-21:32	43
19	x	0	21:32-22:00	28	22:00-22:41	41
20	22:41-23:04	23	23:04-24:01	57	24:01-24:39	38
21	24:39-24:52	13	24:52-25:00	8	25:00-25:25	25
22	x	0	25:25-25:43	18	25:43-26:21	38

průměr jízda:	8,36364	průměr kácení:	23,04545	průměr krácení:	34,59091
celkem jízda:	184	celkem kácení:	507	celkem krácení:	761

**začátek měření biofeedbacku v 0:23 videozáznamu**

**Příloha č. 11 – CD s disertační prací v elektronické podobě**