

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

Katedra lesnických technologií a staveb

**Faktory ovlivňující křivku učení  
u operátorů harvestorů**

Diplomová práce

Autor: Bc. Zuzana Jeřábková

Vedoucí práce: Ing. Martin Jankovský, Ph.D.

2020

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zuzana Jeřábková

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Faktory ovlivňující křivku učení u operátorů harvesterů

Název anglicky

Factors affecting the learning curve of harvester operators

---

## Cíle práce

Cílem diplomové práce je prozkoumat možnosti uplatnění moderních metod sledování fyziologické odezvy člověka na práci při tréninku těžby dříví na harvesterovém simulátoru John Deere, jejich srovnání s konvenčními metodami sledování křivky učení a možnosti spojení těchto metod tak, aby instruktor měl k dispozici komplex informací o stavu trénovaných operátorů umožňující optimalizaci tréninkového procesu.

## Metodika

Studentka zpracuje přehlednou literární rešerši v oblasti učení operátorů mechanizačních prostředků a možností sledování procesu učení. Dále navrhne vhodnou metodiku pro zapojení moderní techniky, umožňující přesnější sledování procesu učení. Srovná výsledky měření křivky učení pomocí moderní techniky s tradičními metodami sledování křivky učení. Využije při tom, kromě jiných i vhodné statistické metody. V diskuzi provede argumentační srovnání tradičních a moderních metod sledování křivky učení operátorů mechanizačních prostředků a doporučí vhodné spojení daných metod tak, aby učitel měl k dispozici co nejobjektivnější obraz o stavu učících se operátorů.

Doporučený rozsah práce

40-50 stran

Klíčová slova

biofeedback; srdeční frekvence; křivka učení; produktivita práce

---

Doporučené zdroje informací

- B. Pagnussat, M., da Silva Lopes, E. 2017. The behavioral profile of harvester operators. *Revista Árvore*. 41. DOI: 10.1590/1806-90882017000200010.
- da Silva Lopes, E., B. Pagnussat, M. 2017. Effect of the behavioral profile on operator performance in timber harvesting. *International Journal of Forest Engineering*. 28. 1-6. DOI: 10.1080/14942119.2017.1328847.
- Purfürst, F.T. 2007. Human Influences on Harvest Operations. *FORMEC 2007: Meeting the needs of tomorrow's forests / New developments in forest engineering (Vienna, Austria)*. 9p. [[https://www.formec.org/images/proceedings/2007/session\\_2\\_pdf/2\\_2\\_paper\\_purfuerst\\_austro\\_formec\\_2007.pdf](https://www.formec.org/images/proceedings/2007/session_2_pdf/2_2_paper_purfuerst_austro_formec_2007.pdf)]
- Purfürst, T., Lindroos, O. 2011. The Correlation between Long-Term Productivity and Short-Term Performance Ratings of Harvester Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 32.
- Purfürst, T. 2010. Learning Curves of Harvester Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 32.
- Shepherd, J., Carter, L., Pepping, G.-J., Potter, L.E. 2018. Towards an Operational Framework for Designing Training Based Sports Virtual Reality Performance Simulators. *Proceedings*. 2. 214. DOI: 10.3390/proceedings2060214.
- Silva Lopes, E., B. Pagnussat, M. 2018. Effect of age and education level of operators in the training with harvester virtual reality simulator. *FLORESTA*. 48. 463. DOI:10.5380/ufv.v48i4.50437.
- Tarleton, M. 2017. Forest Machine Operator Training Programme Trainee Manual: Stage 2, Harvester Operations. 79p. [[https://www.forestindustries.ie/Sectors/IFFPA/IFFPA.nsf/vPages/Council\\_and\\_Working\\_Groups~forest-machine-operator-training-programme/\\$file/FMO%20Training%20Programme%20Manual%20-%20Stage%20-%20Harvester.pdf](https://www.forestindustries.ie/Sectors/IFFPA/IFFPA.nsf/vPages/Council_and_Working_Groups~forest-machine-operator-training-programme/$file/FMO%20Training%20Programme%20Manual%20-%20Stage%20-%20Harvester.pdf)]
- Thorsén, Å. 2010. Resultat nr. 1 2010. Metodutbildning ger ökad prestation och lägre dieselförbrukning i drivning. [[https://www.skogforsk.se/cd\\_48e550/contentassets/adb19782fad54f5d93510bdded8d3565/resultat1-2010\\_lowres.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_48e550/contentassets/adb19782fad54f5d93510bdded8d3565/resultat1-2010_lowres.pdf)]
- Zheng, Y., Bowen, C., Huang, Q., Liu, J. 2017. Research on Virtual Driving System of a Forestry Logging Harvester. *Wireless Personal Communications*. 102. DOI: 10.1007/s11277-017-5085-3.

---

Předběžný termín obhajoby  
2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce  
Ing. Martin Jankovský, Ph.D.

Garantující pracoviště  
Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 15. 3. 2019

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.  
Děkan

V Praze dne 10. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Faktory ovlivňující křivku učení u operátorů harvestorů vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Jankovského, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu této práce Ing. Martinu Jankovskému, Ph.D. za veškerou pomoc a čas, který mi věnoval. Děkuji také Ing. Ondřeji Nuhličkovi za cenné rady, které mi pomohly při zpracování dat.

## **Abstrakt**

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti uplatnění moderních metod sledování fyziologické odezvy člověka na práci při tréninku těžby dříví na harvesterovém simulátoru John Deere a porovnat je s konvenčními metodami sledování křivky učení. Pro tento cíl bylo zapotřebí provést sběr dat, které podávaly informace o velikosti produkce zkoumaných subjektů a o jejich fyziologické odezvě. K těmto účelům posloužil přístroj zvaný biofeedback, jehož data, včetně výstupních dat z harvesterového simulátoru byla dále vyhodnocována v programu STATISTICA, ve kterém bylo nejprve provedeno základní statistické zpracování, poté regresně korelační analýzy a nakonec analýzy rozptylu. Výsledkem těchto výstupů bylo určení statistické významnosti jednotlivých proměnných, které zastupovaly buď moderní nebo tradiční metody sledování křivky učení u harvesterových operátorů. Z těchto výsledků a ze zpracované literární rešerše jsem došla k závěru, že využití biofeedbacku, jakožto moderní metody sledování průběhu křivky učení, by mohlo mít potenciál při školení harvesterových operátorů, ovšem nikoliv takovým způsobem, který byl navržen v této práci.

**Klíčová slova:** biofeedback, srdeční frekvence, křivka učení, produktivita práce

## **Abstract**

The main goal of this work was to search possibilities of applying modern methods of physiological response of man to work during training of extraction of wood on harvester simulator John Deere and to compare them with traditional methods of monitoring the learning curve. For this purpose it was necessary to collect data, which provide us with information about size of production of research subjects and about their physiological response. For the sake of this was used a machine called Biofeedback, whose data, including output data from harvester simulator were further evaluated in program STATISTICA, in which was firstly made basic statistical processing, subsequently regressive correlational analysis and at last analysis of dispersion. Results of these outcomes was designation of statistical value of individual variable, which act on either modern or either traditional methods of monitoring of learning curve by harvester operators behalf. From these results and from processed literary research I have come to the conclusion, that usage of biofeedback, as modern method of monitoring of course of learning curve, could have potential at training of harvester operators, of course not as it was used during this work.

**Key words:** biofeedback, heart frequency, learning curve, productivity of work



## Obsah

1. Úvod.....	14
2. Cíle práce.....	15
3. Literární rešerše.....	16
3.1. Harvestorová technologie.....	16
3.1.1. Historie harvestorové technologie.....	16
3.1.2. Harvestorové technologie a těžební metody.....	17
3.1.2.1. Výrobní lokalita.....	18
3.1.2.2. Těžební metody.....	19
3.1.3. Vývoj harvestorové technologie v ČR.....	21
3.1.4. Výrobní potenciál harvestorových technologií v ČR.....	23
3.1.5. Harvestor jako mechanizační prostředek.....	25
3.1.5.1 Podvozek.....	27
3.1.5.2 Hydraulický jeřáb.....	28
3.1.5.3 Těžební (harvestorová) hlavice.....	28
3.1.5.4 Kabina.....	29
3.1.5.5 StanForD.....	30
3.2. Operátoři harvestorů.....	31
3.2.1. Předpoklady operátorů.....	31
3.2.2. Povinnosti operátorů.....	32
3.2.3. BOZP s harvestory.....	33
3.2.4. Kvalita práce operátorů a její ohodnocení.....	34
3.2.5. Školení operátorů harvestoru.....	35
3.3. Učení operátorů.....	36
3.3.1. Motorické učení.....	37
3.3.2. Křivka motorického učení.....	39
3.3.3. Křivka učení u operátorů.....	41
3.3.4. Faktory ovlivňující křivku učení operátora.....	42
3.3.5. Stres.....	43
3.3.6. Biofeedback.....	44
4. Metodika práce.....	46
4.1. Podmínky tréninků.....	46
4.2. Průběh tréninků.....	48
4.3. Práce s daty.....	49
5. Výsledky a diskuze.....	53
5.1. Vyhodnocení parametrů datové sady.....	53
5.2. Tradiční metody sledování křivky učení.....	54
5.3. Moderní metody sledování křivky učení.....	58
6. Závěr.....	65
7. Seznam literatury a použitých zdrojů.....	66

## Seznam tabulek

Tab. 1: V současnosti harvestorová technologie v ČR zpracovává kolem 32% celkových objemu těžeb.....	21
Tab. 2: Vývoj sortimentní metody a počtu harvestoru za poslední roky.....	24
Tab. 3: Další parametry rozdělovací harvestory do výkonových tříd.....	26
Tab. 4: Fáze motorického učení.....	38
Tab. 5: Výstupní pulz a teplota trénovaného měřených biofeedbackem a vyjádřených v průběhu jedné sekundy.....	50
Tab. 6: Popisné statistiky za všechny operátory a tréninky.....	53
Tab. 7: Statistická analýza závislosti počtu vytěžených stromů na počtu tréninků.....	55
Tab. 8: Statisticky významné rozdíly počtu vytěžených stromů během tréninků.....	55
Tab. 9: Statistická analýza závislosti počtu výrobních operací na počtu tréninků.....	57
Tab. 10: Statistická významnost a závislost času jednotlivých výrobních operací na počtu tréninků.....	58
Tab. 11: Statistická významnost a závislost zátěžového pulzu za všechny operace dohromady i zvlášť na počtu tréninků.....	59

## Seznam ilustrací

Obr. 1: Výrobní lokality.....	18
Obr. 2: Těžební metoda stromová.....	19
Obr. 3: Těžební metoda kmenová.....	20
Obr. 4: Těžební metoda sortimentní.....	20
Obr. 5: Absolutní a relativní zastoupení harvesterů od jednotlivých výrobců v ČR.....	23
Obr. 6: Popis těžební hlavice.....	29
Obr. 7: Harvesterový simulátor.....	36
Obr. 8: Křivka učení.....	39
Obr. 9: Plató efekt.....	40
Obr. 10: Biofeedback 2000x-pert.....	45
Obr. 11: Ilustrační snímek z kamerového záznamu trénovaného.....	49
Obr. 12: Počet vytěžených stromů v závislosti na počtu tréninků.....	55
Obr. 13: Počet vykonaných operací v závislosti na počtu tréninků.....	56
Obr. 14: Čas vykonaných operací v závislosti na počtu tréninků.....	58
Obr. 15: Průběh zátěžového pulzu za jednotlivé výrobní operace v závislosti na počtu tréninků.....	60

## **Použité zkratky a symboly**

tj.	to je
FMG	Forest Machine Group
tzv.	tak zvané
ČR	Česká republika
resp.	respektive
např.	například
P	pařez, pěň
VM	vývozní místo
OM	odvozní místo
ES / MES	expediční sklad / manipulačně expediční sklad
cm	centimetr
kPa	kilopascal
CHKO	chráněná krajinná oblast
NP	národní park
km	kilometr
dB	decibel
StanForD	Standard for Forest machine Data and Communication
IT	informační technologie
XML	eXtensible Markup Language (rozšiřitelný značkovací jazyk)
č.	číslo
Sb.	Sbírký
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
OSVČ	osoba samostatně a výdělečně činná
OOPP	osobní ochranné pracovní prostředky
ZSBOZP	Znalostní systém prevence rizik v BOZP
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
apod.	a podobně
CNS	centrální nervová soustava
ADD / ADHD	Attention Deficit (Hyperactivity) Disorder
r	korelační koeficient
r <sup>2</sup>	koeficient determinace

p	hladina významnosti
°	stupeň
%	procento
=	rovná se

## **1. Úvod**

Téma "Faktory ovlivňující křivku učení u operátorů harvestorů" je založené na získávání, porovnávání a následném zpracovávání dat v oblasti moderních a tradičních metod sledování křivky učení. Smyslem této práce bylo porovnání těchto metod a nalezení potenciálních situací, ve kterých by mohly obě metody sloužit k efektivnějšímu školení operátorů harvestoru. Mezi moderní metody sledování křivky učení operátorů spadá i použití biofeedbacku, jehož využití v této oblasti se nachází teprve v začátcích. Přesto se začínají objevovat jisté studie zkoumající využití jeho potenciálu, které patřily i mezi cenné zdroje této diplomové práce. Aby ovšem bylo možné porovnat možnosti jeho využití a zkusit tak zařadit moderní metody mezi běžně používané metody sledování křivky učení, bylo potřeba zpracovat toto téma formou vědecké práce, jejíž výsledky sloužily jako podklad pro stanovování možností uplatnění daných metod.

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je prozkoumání možností uplatnění moderních metod sledování fyziologické odezvy člověka na práci při tréninku těžby na harvestorovém simulátoru John Deere a jejich srovnání s konvenčními metodami sledování křivky učení. Mezi další cíle této práce patří i zjištění možností propojení těchto metod tak, aby instruktor měl k dispozici komplexní informace o stavu trénovaných operátorů, které umožňují optimalizovat tréninkový proces. Posledním cílem této práce je potvrzení či vyvrácení hypotézy, zda stres trénovaných, měřený prostřednictvím jejich pulzu, má statisticky významný vztah s úrovní jejich trénovanosti vyjádřenou tradičními ukazateli křivky učení, jako např. produktivita práce.

Pro dosažení těchto cílů jsme nejdříve zpracovali přehlednou literární rešerši, týkající se oblasti učení operátorů mechanizačních prostředků a navržení způsobu zapojení moderní techniky, která umožňuje přesnější sledování procesu učení. Dále bylo potřeba srovnat výsledky měření křivky učení pomocí moderní techniky s tradičními metodami sledování křivky učení, u kterých byly použity i vhodné statistické metody. V diskuzi bylo dále provedeno argumentační srovnání tradičních a moderních metod sledování křivky učení operátorů mechanizačních prostředků a doporučení vhodného spojení daných metod tak, aby učitel měl k dispozici co nejobjektivnější obraz o stavu učících se operátorů.

### **3. Literární rešerše**

#### **3. 1. Harvestorová technologie**

Pojmem "technologie" označujeme souhrn výrobních prostředků pro danou pracovní činnost sloužící k výrobě výrobků, jejich opravě nebo poskytnutí služeb. Dále do něj může být zahrnut souhrn dokumentů nazývaných know-how daného podniku zahrnujících výrobní postup a prostředky dané organizace. Samotné slovo má původ v řeckém pojmu "techné", které znamená znalost určitého postupu, či řemeslnou dovednost (managementmania.com, 2020).

Harvestor je víceoperační stroj tj. stroj provádějící při těžbě dříví kontinuálně více operací v jednom cyklu. Konkrétně se jedná o kácení stromu, odvětvování, rozřezávání, ukládání jednotlivých výřezů na hromady a v rámci fáze manipulace i o měření, třídění a evidenci (tds.estranky.cz, 2019).

Spojením těchto dvou pojmů dostáváme název pro moderní technologii výroby surového dříví představující ucelený komplex výrobních postupů od přípravy porostu, přes těžbu, nakládání se dřívím až k potěžebním úpravám (Macků, 2014).

##### **3.1.1. Historie harvestorové technologie**

První víceoperační stroje se začaly objevovat ve Finsku a Švédsku koncem čtyřicátých let dvacátého století. Nadnárodní koncern Rauma-Repola FMG (Forest Machine Group), který tehdy ovládal velkou část strojírenského trhu ve Skandinávii, si pravděpodobně zaslouží prvenství ve výskytu víceoperačních strojů (vyjma harvestoru, který jako první představila v roce 1973 kanadská společnost Timberjack Inc.). Během 80. a 90. let došlo ke spojení samostatných firem koncernu s výrobou severských strojů: ve Švédsku - FMG Alfta Ab a FMG Filipstad Ab, ve Francii - FMG Cemet-Agrip S.A. a ve Finsku FMG ÖSA Ab a FMG Lokomo Forest se společností Timberjack Inc (Macků et al., 2015).

Víceoperační stroje vyráběny v dané době měly množství nedostatků, například: vysokou hmotnost (40 tun), malou průchodnost terénem a nedokonalý měřicí systém. Jeden z prvních harvestorů měl těžební hlavici namontovanou pevně na těle stroje, tudíž musel ke každému těženému stromu najíždět zvlášť. Pro to, aby se zvýšila manipulační schopnost a tím i efektivita práce, se začal používat dnes známý hydraulický jeřáb, který umožňoval zpracování několika kmenů z jedné pozice (Macků et al., 2015).



Mezi první používané řezné ústrojí patřily nůžky a nůž s přitlačnou plochou. Ty se ovšem v praxi neosvědčily z důvodu vysokých nároků na pracovní tlak a hlavně pro vysoké ztráty dřevní suroviny, způsobené rozdrčením kmene v místě oddělení a vytrháním jednotlivých dřevních vláken. Dalším typem používaného řezného ústrojí byl řezný pilový kotouč, který sice dokázal vyřešit problém se ztrátou dřevní suroviny a s řeznou rychlostí, na druhou stranu ovšem měl omezené možnosti z hlediska velikosti kmenů. Úřez kotouče byl menší než polovina jeho průměru, tudíž na pokácení větších stromů bylo potřeba větších kotoučů, které automaticky znamenaly větší hmotnost a hlavně značnou setrvačnost. Tyto dva efekty tudíž kladly obrovské nároky na konstrukci kácecí hlavice a hydraulického jeřábu. Zvrat v této problematice přineslo použití řetězu, který spojoval velkou rychlost řezu s malými ztrátami prořezem a s relativní konstrukční jednoduchostí. Jako první se začalo používat tzv. bezvodičové (bezlišťové) vedení řetězu, jehož konstrukce byla velmi složitá. Řetěz byl napnut na otáčivých napínacích kladkách a poháněn přes kladky hnací. Řezné ústrojí se pohybovalo na otočných čepech a umožňovalo oddělení celého kmene. Složitost a s tím související častá poruchovost a přetrhávání řetězu vedlo k dalším tendencím vylepšovat. Posledním vylepšením se tudíž stala konstrukce na bázi konstrukci motorové pily. Ta splňuje nejlépe všechny kladené nároky a velmi rychle vytlačila ostatní druhy řezného ústrojí (Macků et al., 2015).

V průběhu osmdesátých let dvacátého století byla těžební hlavice zdokonalována přidáním podávacích a přitlačných válců a odvětvovacích nožů, zlepšeným systémem měření a registrací stromových veličin. Veškerá tato vylepšení zahrnující i změny konstrukce stroje a hlavice, snížení hmotnosti a zefektivnění celého konceptu stroje vedly k rychle se zvyšujícímu počtu nasazovaných strojů (Macků et al., 2015).

### **3.1.2. Harvesterové technologie a těžební metody**

Proces výroby surového dříví (začínající pokácením stromu určeného k těžbě a končící dodáním vyrobeného sortimentu odběrateli) je poměrně zdlouhavý a náročný. Rozděluje se na čtyři plynule navazující fáze: těžbu, soustředování, manipulaci a odvoz dříví (Štícha, 2015). Každá z jednotlivých fází má své pracovní operace, které se musí v rámci výrobního procesu vykonat. U těchto operací se v závislosti na podmínkách může měnit jejich pořadí a i místo, na kterých jsou jednotlivé operace prováděny (les-

sluzby.cz, 2013). V souvislosti s tím je třeba definovat výrobní lokality a těžební metody.

### 3.1.2.1. Výrobní lokalita

Výrobní lokalitou rozumíme místo, kde probíhají jednotlivé pracovní operace v rámci výrobního procesu. Jsou rozlišeny podle toho, jaké pracovní operace na nich probíhají a podle toho jsou popsány technologické postupy a technologie výroby surového dříví (Štícha, 2015). Existují čtyři výrobní lokality. První lokalitu "P" nazýváme "pařez" nebo "peň". Jedná se o místo pokácení stromu v porostu a připravuje se odsud doprava dříví na "VM". Lokalita "VM" (vývozní místo) je místo uložení dříví v porostu u vývozní (přibližovací) linky, pro následné přibližování dříví na lokalitu "OM". Na lokalitu "OM" (odvozní místo) ukládáme přibližované dříví z lokality "P" a "VM". Lokalita se nachází u odvozní cesty a slouží pro následný odvoz na lokalitu "ES"/"MES a nebo přímo odběrateli. Poslední lokalitou je "ES"/"MES" - (manipulačně) expediční sklad. Ten slouží jako místo uložení dříví z "OM" určené k uskladnění, třídění a výrobě sortimentů a expedici odběratelům (Franc, 2013).



Obr. 1: Výrobní lokality, P - pařez (a), VM - vývozní místo (b), OM - odvozní místo (c), MES - manipulačně expediční sklad (d)

Zdroje: ((a) lesni-reality.cz; (b) olesnice.cz; (c) irozhlas.cz; (d) drevoproks.cz)

### 3.1.2.2. Těžební metody

Definice těžební metody je založená na jednotlivých pracovních operacích a na lokalitě, kde se tyto operace provádějí. Jedná se tedy o způsob realizace výroby surového dříví. Na základě toho rozdělujeme tři (resp. čtyři) těžební metody (Staněk, 2002).

První metodou je metoda stromová, při které se na lokalitě P uskuteční jediná pracovní operace a tou je kácení vyznačených stromů. Zbylé operace jsou přeneseny na jiné lokality. Výhodou této metody je přesunutí motomanuálního odvětvování jakožto operace s vysokou pracností a četností úrazu na OM, případně na ES / MES, dále přenesení části prací na příznivější místa, vyklizení klestu z těžební plochy současně s těžbou a koncentrace těžebního odpadu pro případné další zpracování (Štícha, 2015).



Obr. 2: Těžební metoda stromová

Zdroj: (clatrutnov.cz)

Další těžební metodou je kmenová metoda, při níž jsou na lokalitě P vyráběny surové kmeny, tj. odvětný kmen stromu se zkrácenou špičkou. Použití této metody bylo umožněno až s nasazením prostředků s vyšší tažnou silou. Výhodou je přenesení části prací z P na OM případně na ES/MES, kde je zvýšená kultura, hygiena a bezpečnost práce. Dalším přínosem u varianty s druhováním na MES jsou lepší předpoklady pro zhodnocení dříví, spočívající v lepších podmínkách pro druhování. Nevýhodou je ve výchovných těžbách vyšší poškozování stojících stromů v porostu, závisující na délce vyklizovaného dříví a vzdálenosti těžebního stromu od linky (Štícha, 2015).



Obr. 3: Těžební metoda kmenová

Zdroj: (tezba-dreva.eu)

Třetí těžební metodou je metoda sortimentní. Jedná se o metodu, kdy jsou na lokalitě "P" vyráběny sortimenty, které mohou být vyráběny buď ručně (těžební dělník) a nebo mechanizovaně (harvestor, procesor). Tato metoda je starší než metoda kmenová a oproti ní má nevýhodu spočívající ve větším počtu přejezdů přibližovacích prostředků terénem pro transport stejného množství dříví. Podskupinou této metody je čtvrtá těžební metoda a tou je metoda standardních délek, která modifikuje sortimentní metodu na takovou, kdy se na lokalitě "P" vyrábí sortimenty o stejných délkách (Štícha, 2015).



Obr. 4: Těžební metoda sortimentní

Zdroj: (lesni-reality.cz)

Z těchto tří hlavních metod se v České republice nejvíce využívají metody kmenová a sortimentní. Přestože kmenová metoda u nás převažuje, její využití se se stále větším nasazováním harvestorových technologií postupně snižuje. Nikdy ovšem zcela nevyumizí z důvodu jejího využití na místech pro pozemní mechanizaci, kam se harvestor nedostane (např.: horské polohy, neúnosné, či překážkové terény) (Kabeš, 2015).

Tab. 1: V současnosti harvestorová technologie v ČR zpracovává kolem 32% celkového objemu těžeb

sledované období (rok)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	podíl těžebních metod (%)												
sortimentní metoda	23	29	30	25	25	35	31	31	29	38	37	34	32
kmenová metoda	77	71	70	75	75	65	69	69	71	62	63	66	68

Zdroj: vlastní řešení podle (uhul.cz, 2005)

Nasazení harvestorové technologie závisí na řadě faktorů, ovšem dosavadní vývoj, který umožňuje použití harvestorů v čím dál složitějších podmínkách, poukazuje na domněnku, že podíl z celkového objemu těžeb by v budoucnosti mohl být až dvojnásobný (Ulrich et al., 2013).

Dalším z důvodů, proč má sortimentní metoda u nás poměrně vysoké zastoupení, je její šetrnost k lesním ekosystémům v rámci procesu výroby surového dříví. Harvestory a vyvážecí traktory, tvořící harvestorový uzel, jsou konstruovány tak, aby bylo při jejich použití vyškolenými operátory dosaženo minimálního tlaku na lesní půdu a minimální poškození zůstávajícího porostu. Za předpokladu správného technologického použití, dobře připravených porostů k těžbě, kontrolovaných a smluvně přebíraných prací, může být míra poškození zůstávajícího porostu kolem 2 - 5%, max 10% (Kabeš, 2015).

### 3.1.3. Vývoj harvestorové technologie v ČR

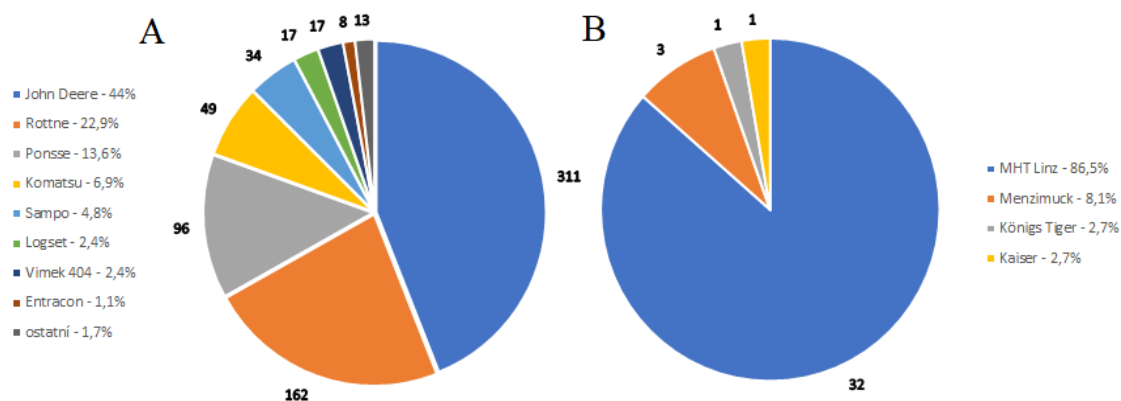
První harvestory se na území tehdejšího Československa objevily na počátku sedmdesátých let dvacátého století. Důvodem pro první větší rozšíření harvestorové technologie u nás byla likvidace imisemi poškozených porostů v severních Čechách, zejména v druhé polovině osmdesátých let. Za tímto účelem byla nasazena tzv. I. generace harvestorových technologií, která měla za úkol zpracovávat mýtní a nahodilé

těžby většího rozsahu. Díky likvidaci imisemi poškozených stromů se nemuselo hledět, v jakém období se práce provádí a proto se za účelem dosažení maximální produktivity práce pracovalo za jakýchkoliv půdních a klimatických podmínek. Navíc se pro zlepšení pojezdu vybavovaly zadní boogie nápravy řetězy, které i přes menší tlak na půdu, způsobovaly větší míru eroze. Stroje I. generace vážily minimálně 22 tun, byly osázeny relativně úzkými pneumatikami a při nevhodném nasazení velmi poškozovaly jak porostní půdu, tak plochu vyvážecích linek (tds.estranky.cz, 2019).

II. generace těchto mechanizačních prostředků byla určena především pro mladé porosty do 40 let, na předmýtní těžbu, nahodilou a některé typy i na těžbu mýtní. Základní požadavek u této generace je technologie založená na pojezdu všech strojů po vyvážecích linkách. Konstrukční řešení této generace oproti předchozí se liší především v hmotnosti stroje, která nepřekračuje hranici 13 tun, dále nově řešeným pojezdovým ústrojím obohacené o speciální pneumatiky, včetně většího počtu náprav a nově řešeným hydraulickým manipulátorem a těžební hlavicí. Harvestory této generace se u nás objevily v roce 1988, konkrétně se jednalo o harvestory: ÖSA 250 Eva a FMG 0470. Tyto stroje byly používány výhradně v probírkách (tds.estranky.cz, 2019).

Na začátku 21. století se začíná objevovat III. generace harvesterových technologií. V roce 2003 byl představen prototyp švédského harvestoru Vimek 404 T, jehož sériová výroba byla zahájena v roce 2005 (tmforest.cz, 2007). Tento stroj, který byl v České republice předveden v roce 2007 na lesnické výstavě Eurofest v Prachaticích, je používán v probírkových porostech (Lasák, 2007). K roku 2012 se v České republice nachází 5 těchto harvestorů (tmforest.cz, 2012).

Jak již bylo výše řečeno, v roce 2018 zpracovávala harvesterová technologie 32% celkového objemu těžeb. Podle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky (Zelená zpráva) se v tomto roce v provozu vyskytovalo celkem 744 harvestorů, z toho 707 bylo kolových a zbylých 37 mělo pásový podvozek. Z celkového počtu harvestorů bylo 238 strojů vybaveno těžební hlavicí s úřezem do 55 cm, což dává předpoklady k nasazení do výchovných a nahodilých těžeb. Zbylých 469 strojů vybavených těžebními hlavicemi s úřezem do 62, 72 a 75 cm bylo nasazováno do mýtních a kalamitních těžeb (uhul.cz, 2018).



Obr. 5: Absolutní a relativní zastoupení harvesterů od jednotlivých výrobců v ČR, A - harvestory s kolovým podvozkem, B - harvestory s pásovým podvozkem

Zdroj: vlastní řešení podle (uhul.cz, 2018)

Z celkového počtu kolových harvesterů používaných v České republice má nejvyšší zastoupení výrobce John Deere. Celkem se od něj používá 311 harvesterů, čemuž odpovídá 44% zastoupení. Dále jsou v České republice populární kolové harvestory Rottne s 22,9 % a na třetím místě se nachází výrobce Ponsse se 13,6%. Co se týká pásových harvesterů, jejich zastoupení je u nás rozděleno mezi 4 výrobce: Kaiser, Menzi Muck, MHT Linz a Königs Tiger, přičemž hlavní zastoupení patří výrobcí MHT Linz, který v České republice má 32 strojů, což je 86,5% (uhul.cz, 2018).

### 3.1.4. Výrobní potenciál harvesterových technologií v ČR

Jak již bylo výše řečeno, zvyšující se podíl sortimentní těžební metody a počtů harvesterů v České republice v rámci let 2006 - 2018 (Tab. 2), poukazují na domněnku, že podíl z celkového objemu těžeb by v budoucnosti mohl být až dvojnásobný. Ačkoliv to na první pohled může působit pozitivním dojmem, je potřeba se zamyslet, zda je možnost využívat harvesterové technologie efektivně v závislosti na výrobních podmínkách v rámci lesního hospodářství České republiky.

Tab. 2: Vývoj sortimentní metody a počtu harvestorů za poslední roky

sledované období (rok)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
sortimentní metoda (%)	23	29	30	25	25	35	31	31	29	38	37	34	32
počet harvestorů (ks)	219	308	332	330	369	380	400	432	494	531	595	663	744

Zdroj: vlastní řešení podle (uhul.cz, 2005)

Mezi výrobní podmínky, které znemožňují nasazování harvestorových technologií do určitých typů porostů, patří následující skutečnosti. Prvním takovým opatřením jsou terénní klasifikace Macků-Simanov-Popelka (1993) a LESPROJEKT (1980), které doporučují nasazení harvestorů do svahů s maximální sklonitostí do 33% (ve výjimečných případech nebo v případech pásových, kombinovaných či kráčejících podvozků do 50%). Dalším opatřením je doporučená výše překážek, která by neměla překročit hodnotu 50 cm. Posledním bodem je skutečnost, že by se mechanizace neměla nasazovat do terénu ovlivněných vodou, to jest do porostů, které mají trvale nebo dočasně sníženou únosnost. Na základě terénní klasifikace a na ní navazující technologickou typizaci je povoleno nasazení harvestorových technologií do únosných a podmíněně únosných terénů (tomu odpovídají terény s možností tlaku přesahujícího 50 kPa). Do výrobních faktorů, zlepšující využití harvestorových technologií můžeme dále řadit i vhodnou druhovou skladbu porostu. Za tu považujeme porosty jehličnaté s podílem převyšujícím 80% zastoupení, popřípadě porosty s převažujícím zastoupením břízy nebo buku do 50 let věku. Jedná se tedy o porosty, kde se nenachází velká větevnatost a tloušťka větví stále umožňuje jejich oddělení odvětvovacími noži těžební hlavice. Dalším výrobním faktorem týkající se konkrétně České republiky, je využití harvestorové technologie primárně v hospodářských lesích a lesích zvláštního určení. V prvních zónách CHKO a NP se harvestory nevyužívají (Dvořák et al., 2018).

Efektivnost využití harvestorových technologií nemusí nutně souviset s vysokým počtem harvestorů. Dvořák a kol. (2018) uvádí, že počet harvestorů v Zelené zprávě (2016) byl 595 a v Centrálním registru vozidel ČR (2015) 93. Dospěli k tomu spojením průměrné výkonnosti určitého počtu harvestorů s výkonovými normami (vypracovány pro Lesy ČR v roce 2010 Fakultou lesnickou a dřevařskou) a průměrnou roční výkonností harvestorů. Výsledkem byl interval v rozmezí od 235 po 376 strojů



pracujících v České republice. Dvořák a kol. (2018) dále uvádí, že data ze Zelené zprávy jsou nadhodnoceny a v Centrálním registru vozidel ČR podhodnoceny a tudíž reálný počet harvestorů lze tedy hledat někde "ve středu" (Dvořák et al., 2018).

Ze stejné studie vychází fakt, že možné plošné využití harvestorových technologií se pohybuje v rozmezí 45-79% plochy lesů (splňujících výše uvedené výrobní podmínky) a objemový potenciál využití harvestorové technologie v rozmezí 35-80% zásoby dříví. V rámci rozmezí objemového potenciálu, dolní hranice vychází ze striktního dodržování výrobních podmínek, kdežto u horní hranice se tato striktnost nedodrhuje. Podle Dvořáka a kol. (2018) ovšem tato výsledná procenta mohou být v realu nižší z důvodu počítání převzatých sklonů svahů, které nekopírují hranice jednotek prostorového rozdělení lesa a tudíž dochází k jistému ovlivnění výsledků směrem nahoru. Ačkoliv pokud bychom i přesto porovnali současný podíl sortimentní těžby s plošným a objemovým potenciálem, je patrné, že harvestorová technologie má možnost navýšit podíl sortimentních těžeb. Podle studie je rychlost vývoje této technologie pro další léta pouze ekonomickou a technicko-organizační otázkou (Dvořák et al., 2018).

### **3.1.5. Harvestor jako mechanizační prostředek**

Harvestor jakožto víceoperační stroj provádí kácení, odvětvování a ukládání stromu v jednom cyklu. Celý cyklus je plně mechanizovaný a částečně automatizovaný. Důvodem zvyšujícího se počtu harvestorů (a celkově těžebně-dopravních strojů) byly následující problémy: stoupající mzdy lesních dělníků, relativně nízké ceny dříví na trhu, omezené finanční prostředky lesních podniků a konkurence v prodeji dříví. Nasazením těžebně-dopravních strojů byly tyto problémy zmírněny, díky jejich vyšší produktivitě (v porovnání s manuální těžbou), která mohla příznivě ovlivnit ceny vyrobených dřevních sortimentů (Schlaghamerský, 2001).

Harvestory lze dělit podle několika hledisek. Prvním hlediskem je dělení na základě typu podvozku, podle kterého rozlišujeme harvestory na kolové, pásové, kombinované a kráčivé (Navrátil, 2009).

Další třídění harvestorů se provádí na základě jejich velikosti, pod kterou spadají následující kritéria: výkon motoru, hmotnost stroje a dosah hydraulického jeřábu. Podle těchto tří hlavních kritérií řadíme harvestory do tří výkonových skupin: malovýkonové, středněvýkonové a vysokovýkonové. Jednotlivé výkonové třídy se odlišují i v dalších

parametrech (Tab. 3). Každá výkonová třída má své vhodné rozmezí podmínek do kterých by měla být nasazena. Například malovýkonové harvestory jsou vhodné pro probírky, kde je jejich malá hmotnost a menší rozměr výhodou, naproti tomu v mýtních těžbách by jejich výkon nebyl dostatečný (Macků, 2014).

Tab. 3: Další parametry rozděluující harvestory do výkonových tříd

harvestor	(měrné jednotky)	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	8,5 - 10,0	10,0 - 11,0 (15)
hmotnatost těžného kmene	(m <sup>3</sup> /strom)	do 0,15	do 0,35	nad 0,35
úřez	(cm)	20 - 35	35 - 45	45 - 65

Zdroj: (Macků, 2014)

Místo, kde je umístěná těžební hlavice harvestoru, je dalším možným kritériem pro jejich dělení. Pokud harvestor patří do skupiny širokozáběrových, má těžební hlavici umístěnou na hydraulickém jeřábu. Takové harvestory můžeme potkávat u vyvážecích linek a patří sem převážná část dnešních harvestorů. Naproti tomu úzkozáběrové stroje nemají hydraulický jeřáb, ale jejich těžební hlavice je umístěná na zesíleném rámu přední části kabiny. Proto musí harvestor ke každému těžnému stromu zajíždět do bezprostřední blízkosti, což způsobuje větší poškození okolního porostu a tudíž se tyto typy harvestorů vyskytují minimálně (Brychta, 2018).

Posledním hlediskem pro dělení harvestorů je způsob odvětvení tedy technologie zpracování stromu. Jedná se buď o stroje s jedním uchopením stromu, kde těžební hlavice umístěná na hydraulickém jeřábu před kabinou operátora strom uchopí, pokácí, odvětví, rozřeže a uloží na jedno uchopení, nebo o 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. Díky rychlejší a efektivnější práci převládají v praxi harvestory jednoúchopové (Macků, 2014).

Harvestory jsou využívány hlavně pro jehličnaté dřeviny, zejména smrky a borovice skandinávského původu, které nemají silné a tvrdé větve. Může se ovšem nasazovat i do listnatých porostů, které mají vysoký počet stromů s rovnými kmeny a

jsou slabšího průměru (jak již bylo výše zmíněno, ideálně bukové a březové porosty do 50 let věku) (Štícha, 2015).

Konstrukce harvestoru se skládá z podvozku, hydraulického jeřábu, těžební (harvestorové) hlavice a kabiny operátora.

### **3.1.5.1 Podvozek**

Nejčastěji používaný podvozek u harvestorů je podvozek kolový či kolopásový. Důvodem je především snadný a rychlý přesun nejen v rámci porostů, ale i na veřejných komunikacích, na který jsou některé typy kolových harvestorů uzpůsobeny. Jejich samostatný přesun může být až do vzdálenosti 30 km. Kolový podvozek se může skládat ze 4 - 8 kol a úhel jeho řízení se pohybuje do 44°. Výhodou kol je dobrá mobilita. Nápravy podvozku mohou být pevné, výkyvné (s hydraulickou stabilizací polohy) nebo tandemové (bogie). Bogie nápravy elegantně překonávají překážky a přitom nedochází k velkému bočnímu výkyvu stroje, jako u pevných náprav s jedním kolem. Další výhodou této nápravy je zvětšení plochy styku s povrchem a tím zmenšením tlaku na půdní povrch. V terénech s větší sklonitostí svahu nebo se sníženou únosností jsou na kola nasazovány řetězy, na bogie nápravy pak kolopásky. Ty též rozkládají hmotnost na velkou styčnou plochu, ale dále mohou zlepšovat záběrové vlastnosti, snížit prokluz, snížit spotřebu paliva, zvýšit nakládací kapacity a zvýšit stabilitu stroje, jak při jízdě, tak při práci (Navrátil, 2009).

Méně běžným podvozkem je podvozek pásový, jehož základem je univerzální bagrový podvozek. Pásky mohou být kovové, pryžové nebo kombinované. Poslední dvě jmenované jsou využívané u strojů v nižších výkonových třídách. Výhodami podvozku je uplatňování v méně únosných půdách, kde pásky vytváří nízký měrný tlak, ale také v prudkých svazích, díky vysoké stabilitě. Nevýhodou je pomalý přesun, poškozování půdy při zatáčení, nemožnost pohybu po zpevněných komunikacích a častější poškození kořenů stromů (Navrátil, 2009).

Posledním typem podvozku u harvestorů je podvozek kráčivý. Harvestory s tímto typem se využívají v málo přístupných horských terénech. Podvozek je vybaven 4 stabilizačními podpěrami, z nichž každá má 4 směry pohybu. Pohyb v terénu je prováděn pomocí hydraulického jeřábu opíráním o podpěrnou patku, na které je zavěšena harvestorová hlavice. Při pohybu terénem se ovládají jednotlivé stabilizační

podpěry a pohybem hydraulického jeřábu se sladují s pojezdem kol. Proto kráčivý harvestor nevytváří svým průjezdem koleje v takové míře, jako podvozky kolové či pásové (Navrátil, 2009).

### **3.1.5.2 Hydraulický jeřáb**

Hydraulický jeřáb nese harvestorovou hlavici a umožňuje provádět potřebné pohyby ke zpracování stromů. Bývají namontovány před nebo za kabinou operátora. Podle typu konstrukčního řešení, rozlišujeme jeřáby paralelní, teleskopické a výkyvné (Brychta, 2018).

Jeřáb s paralelně vedenými výložníkovými rameny se objevuje nejčastěji. Jeho charakteristickým znakem je druhé zlamovací rameno, které je ovládáno přímočarým hydromotorem nepřímo přes kloubový mechanismus. Výhodou je lineární horizontální pohyb konce jeřábu při funkci pouze jednoho hydromotoru, naopak nevýhodou je velký počet kloubů, které prodlužují a znesnadňují údržbu stroje (Brychta, 2018)

Jeřáb teleskopický je jeřáb se zlamovacím a teleskopickým výložníkem. Tento typ má nízko položené těžiště, tudíž je dobře využitelný při práci se stromy o vysoké hmotnosti v mytních těžbách a skládá se se sloupu, zdvihového ramene a teleskopických ramen (Brychta, 2018).

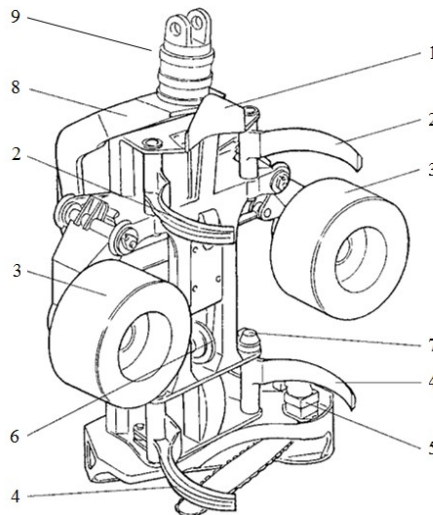
Jeřáb výkyvný je s hlavním výložníkem, zlamovacím a teleskopickým ramenem. Jedná se o konstrukčně jednoduchý, cenově výhodný typ, jehož nevýhoda spočívá v nižší nosnosti v porovnání s předchozím typem jeřábu (Brychta, 2018).

Technickými parametry hydraulického jeřábu jsou jeho dosah (pohybující se v rozmezí 4 - 12 metrů), úhel natočení (obvykle do 270°) a úhel naklápění (do 17°) (Brychta, 2018).

### **3.1.5.3 Těžební (harvestorová) hlavice**

Harvestorová hlavice zajišťuje samotné provedení těžby a komplexní zpracování stromu. U širokozáběrových harvestorů je na konci hydraulického jeřábu umístěn rotátor, který se může otáčet až o 280° kolem své osy. Na tento rotátor je zavěšen ocelový rám obdélníkového tvaru, ve kterém je harvestorová hlavice umístěná. Při těžbě přijede harvestor do blízkosti označeného stromu k těžbě a pomocí hydraulického jeřábu je harvestorová hlavice usazena na patu stromu nad kořenové náběhy. Strom je

poté uchopen těžební hlavici pomocí odvětvovacích nožů plnící v tu chvíli funkci drapáku. Pomocí řetězové pily dojde k uříznutí stromu, hlavice se s pokáceným stromem sklopí do pracovní polohy a pomocí podávacích válců a měřícího kolečka dochází k odvětvování a druhování stromu. Po zpracování daného stromu, je hlavice překllopena zpět do nulové pozice (Brychta, 2018).



Obr. 6: Popis těžební hlavice: 1 – Pevný odvětvovací nůž; 2 – Horní dvojice odvětvovacích nožů; 3 – Podávací válce; 4 – Dolní dvojice odvětvovacích nožů; 5 – Pořezové zařízení s řetězovou pilou; 6 – Měřící kolečko pro měření délky; 7 – Senzory pro měření průměrů; 8 – Sklopný rám; 9 – Rotátor s kontinuálním otáčením

Zdroj: (Brychta, 2018)

Existují dva typy hlavice: švédský a finský. Švédský typ je určen pro zacházení s dlouhými a rovnými kmeny. Proto je jeho konstrukce více robustní a proti finskému typu má delší základní rám a pouze dva podávací válce. Finský typ je vybaven kratším základním rámem a čtyřmi posuvnými válci, umožňující pracovat i s křivými kmeny (Brychta, 2018).

### 3.1.5.4 Kabina

Kabina musí splňovat velké množství norem a standardů, zajišťující největší možné pohodlí a bezpečnost operátorovi harvestoru a to hlavně při jeho výkonu. V rámci těchto norem je tedy potřeba řešit následující parametry. Prvním je samotná konstrukce kabiny, která by měla zajišťovat nízkou úroveň vibrací, ochranu před padajícími předměty a ochranu před proniknutím předmětu do kabiny. Konstrukce by měla být řešena tak, aby nemohla způsobit převrácení stroje a aby co nejvíce odhlučnila

kabinu od venkovního prostoru (hluková hladina v kabině se obvykle pohybuje do 75 dB). Nivelace, neboli naklání kabiny, je dalším parametrem zlepšující pohodlí operátora při práci ve svahu, stejně tak jako další technické úpravy, včetně klimatizace, které vylepšují prostředí v kabině operátora a tudíž mohou mít vliv na jeho výkonnost (Macků, 2014).

### **3.1.5.5 StanForD**

Nehmatatelnou součástí, která ale značně usnadňuje práci s harvestorem je softwarové vybavení založené na mezinárodním standardu StanForD (Standard for Forest machine Data and Communication). Jedná se o standard pro komunikaci mezi počítači v lesních strojích, poskytující data pro evidenci dříví a informace o strojích. Za jeho vývoj a údržbu je zodpovědný švédský lesnický výzkumný ústav Skogforsk. Jeho první verze vznikla v roce 1987, protože bylo potřeba usnadnit vyhodnocování a získávání dat z počítačů harvestorů. Následně se proto ve Skandinávii vytvořil projekt StanForD, jehož požadavkem bylo, aby tento program byl využitelný všemi společnostmi prodávající lesnickou těžební techniku. V současné době existují dva standardy. Starším standardem je StanForD Classic (Original), jehož využití se zvyšujícím se tempem růstu bezdrátových datových komunikací bude klesat. Hlavním důvodem, který vedl k vývoji nové verze StanForD 2010 byla nemožnost vyloučení jakékoli proměnné. To znamenalo, že během let sice bylo možné jej přizpůsobit měnícím se podmínkám, ovšem proměnné, které již byly jednou zavedené a postupně ztrácely na důležitosti se odstranit nepodařilo. Od roku 2010 proto existuje StanForD 2010, který odstraňuje tento problém včetně limitů, vyskytujících se ve StanForD Classic. Cíle StanForD 2010 byly následující (skogforsk.se, 2010):

- správa dat založená na jednodušší struktuře v souladu s moderním IT řešením
- lepší popis struktur
- přísnější priority a pravidla pro provádění
- přidat systém pro správu verzí standardu
- vymazání zastaralých proměnných a struktur, které nejsou již třeba
- běžnější a obecnější formát s otevřeným rozhraním (XML), který usnadňuje zavádění normy do nových aplikacích.

## **3.2. Operátoři harvestorů**

### **3.2.1. Předpoklady operátorů**

Ačkoliv je práce operátora harvestoru poměrně náročná, v České republice nejsou žádné speciální požadavky, které by operátoři museli splňovat. Jedinou kvalifikační podmínku, kterou musí plnit je vlastnit řidičské oprávnění skupiny C (tj. motorová vozidla s výjimkou traktorů o maximální přípustné hmotnosti převyšující 7,5 tuny a maximálně osmi místy k sezení mimo místa řidiče) nebo T (traktory a pracovní stroje samopojízdné, ke kterým smí být připojeno přípojné vozidlo) (zákon č. 361/2000). Není povinností, aby operátoři měli odborné vzdělání a ani nemusí procházet žádným kurzem, tudíž ani nemají povinnost vlastnit patřičná osvědčení. Přesto se v současnosti bere v potaz pokud operátor absolvoval alespoň střední odborné vzdělání lesnického směru, které může ulehčovat v zaměstnání komunikaci mezi dodavatelem služeb a zástupcem vlastníka lesa (Kajzar, 2008).

Přestože není po operátorech vyžadováno žádné speciální vzdělání či osvědčení, měly by pro práci mít určité předpoklady, které by měli splňovat z důvodu velké zodpovědnosti, kterou jako obsluha harvestoru mají. Nejdůležitějším předpokladem je samostatnost operátora při řešení problémů. Často se ocitnou v komplikovaných situacích, ve kterých je potřeba se umět správně rozhodnout, protože bývají odkázáni sami na sebe. Jelikož se jedná o oblast s vysokou úrazovostí, je potřeba, aby operátor byl rozvážný, nikoli zbrklý. Důležitým předpokladem také je, aby dokázal obratně zvládnout manuální řízení daného stroje. Přestože má operátor na starost hlavně ovládání harvestoru, výhodou by mohl být i jeho aktivní přístup v předávání poznatků, které by usnadnily práci technologům. V poslední řadě dobrým předpokladem by mohl být i kladný vztah k informačním technologiím usnadňující jeho práci s výrobně-evidenčními systémy harvestoru. Operátor by dále měl vzít v potaz, že těžebně-dopravní stroje se využívají po celé České republice (někdy i v zahraničí) a tudíž by mu cestování nemělo činit potíže (Kajzar, 2008).

Některé studie dávají poměrně velký důraz i na operátorovu trpělivost. Poukazují na to, že pokud operátor není trpělivý, je to možné sledovat i na kvalitě a kvantitě odvedené práce. Netrpěliví operátoři se často chovají výbušně a agresivně a studie následně prokázaly, že takoví jedinci mají častěji problémy s dodržováním pracovních postupů, vytvářením konfliktů, poruch strojů a pracovních úrazů. Všechny

tyto jmenované oblasti se dále projevovaly i na ztrátě produktivity a na zvýšení výrobních nákladů (Pagnussat et al., 2017).

### **3.2.2. Povinnosti operátorů**

Navzdory tomu, že na operátory harvestoru existuje tak velké množství požadavků, jak již bylo výše řečeno, jejich činnost je legislativou upravena jen v minimální míře. Touto minimální legislativní úpravou je myšleno "Nařízení vlády č.339/2017 Sb., o bližších požadavcích na způsob organizace práce a pracovních postupů při práci v lese a na pracovištích obdobného charakteru". Jedná se o nařízení upravující bezpečnost práce při činnostech v lese a to nejen s těžebně-dopravními technologiemi. Nařízení upravuje způsob práce takovým způsobem, kdy je zaměstnavatel zodpovědný za zajištění bezpečnosti prostředí či bezpečný průběh prací v lese (operátor podle nařízení nese prakticky minimální zodpovědnost). Důležitým požadavkem, týkající se konkrétně mechanizované těžby dříví, je nutnost provedení přípravy pracoviště před nasazením mechanizačního prostředku. To v tomto případě znamená rozčlenění porostů, určení počtů a směrů vyklizovacích linek pro soustředování dříví a určení počtu a vyznačení odpovídajících manipulačních a skladovacích prostorů. Dále se musí dodržovat stabilita mechanizačních prostředků a v případech jejich vysokého počtu musí být provoz koordinován. Při použití harvestoru je potřeba brát v potaz, že se mění velikost ohroženého prostoru. Ten je v nařízení definován jako prostor, ve kterém je zaměstnanec vystaven nebezpečí, které ohrožuje jeho zdraví a bezpečnost. Tento ohrožený prostor je tedy roven kruhové ploše o poloměru nejméně dvojnásobku výšky káceného stromu prodlouženém o délku pracovního ramene stroje (nařízení vlády č. 339/2017).

Dalším faktem, který je potřeba brát v potaz v rámci výčtu povinností operátora, je skutečnost, že práce operátora nespočívá nejen v samotné těžbě stromů, ale i v povinných činnostech týkající se samotné těžby. Existuje tedy další řada povinností, které by operátor měl provádět, aby tím zlepšoval svoji výkonnost a předcházel úrazům. Jednou z takových povinností, co by měl operátor provést ještě před samotnou těžbou, je provedení kontroly u stroje, pohonných hmot a jeho ovládacích prvků. Měl by též případně zajistit doplnění provozních náplní. Teprve poté by měla jít na řadu prohlídka a příprava pracoviště zahrnující například: prohlídku hranic porostů a vyznačených linek



nebo převzetí zadání sortimentace či technologické karty pracoviště (ta poskytuje základní informace pro přípravu, řízení a kontrolu těžební činnosti na konkrétním pracovišti) (Bílek, 2013). Po prohlídce a přípravě stanoviště může následovat samotná těžba, u které se musí dodržovat povinné přestávky během směn. Posledním předpokladem je, že operátor zvládá během své pracovní doby základní servisní úkony (například výměnu hydraulických hadic či jiných provozních komponentů) a je schopný při vzniku závady harvestoru ji odborně popsat a kontaktovat servisní středisko autorizovaného prodejce harvestorové technologie (Kajzar, 2008).

### **3.2.3. BOZP s harvestory**

Vzhledem k tomu, že lesnictví je oblast, kde se objevuje vyšší četnost smrtelných pracovních úrazů a úrazů s hospitalizací delší jak 5 dnů, vyžaduje se u této oblasti zvýšená kontrolní činnost na dodržování právních a ostatních předpisů zajišťující bezpečnost a ochranu zdraví při práci. V letech 2011 - 2013 byly provedeny kontroly, které byly zaměřeny právě na dodržování bezpečnosti práce jak OSVČ (osoba samostatně výdělečně činná), tak zaměstnavateli. Tyto kontroly se zaměřovaly na několik bodů:

- poskytování a používání OOPP (ochranné pracovní prostředky),
- školení a přípravu k výkonu práce,
- obsah provozní a průvodní dokumentace strojů a technických zařízení,
- provádění předepsaných kontrol strojů a technických zařízení,
- funkčnost ovládacích a bezpečnostních prvků a systémů strojů a zařízení,
- dodržování bezpečných pracovních postupů včetně dokumentace se vztahem k vyhledávání rizik na pracovišti,
- bezpečné skladování a manipulace s vytěženým dřívím.

V rámci jednotlivých bodů byly prováděny kontroly s následujícími výsledky. V oblasti školení a seznámení s pracovními postupy a zakázanými způsoby obluhy harvestoru včetně vybavenosti OOPP nebylo zjištěno žádné pochybení. Podobně tomu bylo i při školení a přípravě k výkonu práce, kde zaměstnavatelé nedovolili obsluhu techniky, aby nebyl odpovídajícím způsobem seznámem s dokumentací od výrobce a i s příslušnými bezpečnostními pravidly. Ani obsah provozní a průvodní dokumentace

strojů a technických zařízení nebyl shledán nedostatečným vůči právním předpisům. Obsluha strojů uspokojivě provádí předepsané kontroly strojů a technických zařízení. U funkčnosti ovládacích a bezpečnostních prvků a systémů strojů a zařízení bylo zjištěno, že ačkoliv se jedná o oblast nejrizikovější, často se stává, že bezpečnostní prvky jsou záměrným úkonem obsluhy stroje vyřazeny z provozu a to kvůli snaze usnadnit si práci. Kontrola dodržování bezpečných pracovních postupů zjistila, že operátoři harvestorů často nedodržují pracovní postupy při vystupování z kabiny operátora, na druhou stranu v rámci dokumentace se vztahem na vyhledání rizik na pracovišti nebyly zjištěny žádné nedostatky. V poslední oblasti bezpečného skladování a manipulace s vytěženým dřívím nebyly zjištěny žádné závažnější nedostatky (zsbozp.vubp.cz, 2013).

ZSBOZP (Znalostní systém prevence rizik v BOZP), který tyto kontroly prováděl, celkově hodnotí BOZP v rámci činností spojenými s dodržováním bezpečnosti práce při provozování těžebně-dopravních prostředků, jako uspokojivé. Dále tvrdí, že provozování těchto prostředků je bezpečnější oproti práci dřevorubce. To souhlasí s faktem, že se při kontrolách zjistilo, že celkový stav BOZP v lesnictví je velmi neuspokojivý. Tyto výsledky mohou patřit k argumentům podporující hypotézu, že zastoupení harvestorových technologií se bude i dále navyšovat, ovšem musíme počítat s tím, že stále budou porosty, kam se harvestor nedostane a kde tedy bude zapotřebí manuálních těžeb (zsbozp.vubp.cz, 2013).

Podobnou skutečnost ukazuje i dlouhodobá studie zabývající se pracovními riziky ve slovenském lesnictví. Jedním z výsledků této studie bylo zjištění, že podíl pracovních úrazů u harvestorových operátorů je pouhé 1% v porovnání s dalšími typy lesnických zaměstnání (Jankovský et al., 2019).

#### **3.2.4. Kvalita práce operátorů a její ohodnocení**

Operátor je nejdůležitějším článkem procesu výroby surového dříví a jeho kvalita rozhoduje o celkovém výsledku lesní těžby (Kajzar, 2008).

Mzdové ohodnocení operátora harvestoru vychází z množství vyrobeného dříví, založené na průměrné hmotnosti porostů. Sice každý podnik má svůj mzdový řád a systém odměňování, ale nejčastějším systémem bývá stanovení minimálního stálého základu a připočítá se k tomu pohyblivá motivační složka, která se odvíjí podle výkonu operátora (Kajzar, 2008).

Aby operátor mohl být dobře ohodnocen, je potřeba aby nejen plnil výše uvedené povinnosti, ale měl zároveň i vysokou a kvalitní produkci. Je tedy jasné, že takovou produkci je možné získat až s určitými zkušenostmi a že se operátoři nemohou pustit do procesu výroby surového dříví bez toho, aniž by nebyli nikterak jinak připravení. K tomu mohou sloužit buď lesnické zaměřené školy, nebo školící kurzy, které mají prostředky a přístroje k takovýmto školením. Hlavní přístroj, který se v rámci těchto školení používá je harvesterový simulátor.

### **3.2.5. Školení operátorů harvestoru**

V České republice existuje jen několik míst, kde se nezkušení i zkušení operátoři mohou zaškolit respektive zvyšovat své schopnosti v ovládnání stroje. Taková školení probíhají na harvesterových simulátorech, které modelují potenciální situace, se kterými se může operátor v terénu setkat. Nejčastěji se vyskytuje harvesterový simulátor John Deere. Nejznámějším českým dodavatelem těchto simulátorů je společnost Merimex s.r.o. založená v roce 1994 (merimex.cz, 2005).

Simulátory jsou vybaveny stejnou technikou, jako skutečné harvestory od John Deere. Skládají se ze sedadla operátora, které je rozšířeno o ovládací područky a páky, dále z počítače se softwarem shodným se skutečným strojem, včetně společných ovládacích modulů a prvků. Simulátor od John Deere má přesně stejnou klávesnici, sedadlo, kontrolní systém a kontrolní moduly, jako skutečný harvester od John Deere (merimex.cz, 2005).

Simulátory lze tedy použít pro trénink různých pracovních metod, či naučení se používání měřících systémů, nebo přizpůsobení se systému stroje. Tréninky mohou zvýšit produktivitu práce operátorů i její kvalitu. Nabízejí také možnost vyzkoušet si různé metody řešení jedné situace. Simulátor poskytuje zpětnou vazbu v rámci všech cvičení v podobě statistických zpráv (merimex.cz, 2005).



Obr. 7: Harvestorový simulátor

Zdroj: (merimex.cz, 2005)

### 3.3. Učení operátorů

Proces učení probíhá získáváním, předáváním a osvojováním si zkušeností, návyků, dovedností, znalostí a hodnot. Jedná se o dlouhodobý a aktivní proces, ve kterém člověk působí aktivně ve vztahu k dějům a překážkám v učení. Nejde zde tedy o pouhé pasivní reakce osoby na vnější podněty a podřizování se jejich logice. Výsledky procesu učení slouží člověku jako prostředek k aktivnímu vyrovnání se s požadavky prostředí, to znamená, že na základě nových zkušeností dotyčná osoba mění kvalitativně i kvantitativně své jednání a chování (Rychtecký, 2018).

Proces učení má tři obecné zákony. První zákon spočívá v postupném dosahování cílů, tedy jedinec dosáhne výsledků postupně, nelineárně a různou rychlostí. Způsoby jejich dosažení mohou být uskutečněny nahodilými pokusy a omyly (nastávající v časovém deficitu, či pod velkým emočním tlakem), nebo postupným pochopením (jedinec se snaží před novým pokusem pochopit princip dosažení cíle), a nebo metodickým postupem (založeným na vytyčování a ověřování hypotéz). Druhý obecný zákon říká, že proces učení se uskutečňuje pomocí regulačních a autoregulačních mechanismů s využitím zpětných informací. To dává poměrně velký význam na přijímání a zpracování informací pro vytváření představ, obrazů a plánů budoucí činnosti. Nejméně důležitá je i autokontrola, při které jedinec sám aktivně přijímá, zpracovává a hodnotí zpětné informace v rámci procesu učení. Poslední zákon říká, že efektivita učení závisí na vzájemné interakci vnitřních a vnějších podmínek. To znamená, že spolupráce již získaných vědomostí anebo zkušeností, s metodami učení a motivací by měla vylepšit výsledky procesu učení (Rychtecký, 2018).

Samotný proces učení je možno třídit z několika hledisek. Pro použití v této diplomové práci budeme učení třídit podle vazby na dominující produkty, neboli to, jaké výsledky z procesu učení získáme. Na základě tohoto hlediska rozdělujeme čtyři třídy učení. První třídou je učení poznatků, jehož výsledkem jsou vědomosti a poznatky. Můžeme si pod tím představit "typické školní učení", založené na pamětních znalostech, nazývajících se též verbální učení. Druhou třídou je učení senzomotorických činností často nazývané učení motorické. Představuje učení dovedností a jejich integraci do činností nebo projevů chování například v pracovních profesích. Výsledkem tohoto typu učení jsou dovednosti, činnosti a návyky. Pod třetí třídu spadá učení intelektuálních činností, zahrnující osvojování si rozumových operací a proto jsou rozumové operace neboli algoritmy myšlení výsledkem této třídy. Posledním typem je učení sociálního chování, ve kterém se jedná o osvojování sociálních kategorií, kde konečným dominantním produktem jsou například přijaté motivy, postoje, sociální interakce, sociální normy apod. Všechny třídy učení se vzájemně doplňují, ovšem v oblasti procesu učení operátorů, převažuje třída motorického učení (Rychtecký, 2018).

### **3.3.1. Motorické učení**

Motorické učení je déletrvající změna v pohybovém chování, která je získaná jako výsledek praxe nebo zkušenosti a je měřitelná retencí (pamětním uchováním) (Rychtecký, 2018). Tato změna probíhá ve třech procesech, které mohou probíhat současně. Pod tyto procesy spadá: osvojování si nových vědomostí či dovedností, jejich začlenění do dosavadního systému a zjištění, zda výsledky odpovídají zadanému úkolu či cíli. Motorické učení je založeno na pohybovo-motorické dovednosti, což je učením získaná dispozice ke správnému, rychlému a úspornému vykonávání určité pohybové činnosti. Z toho vyplývá, že se jedná o dovednost vyžadující dokonalé ovládnutí motorické funkce (tou se rozumí koordinovaná činnost kosterního svalstva a jeho vnější projev chování) (is.muni.cz, 2018).

Podstatou motorického učení je osvojování si pohybů a pohybových struktur, které jsou založeny na vzájemné koordinaci pohybů a jejich další koordinaci se sensorickými vjemy. Důležitou součástí je kontrola výsledků činnosti a zpětná vazba, nazývajících se jako kongitivní procesy. Vzhledem k tomu, že se jedná o déle trvající

změnu získanou během určité časové periody, je tato změna měřitelná retencí (is.muni.cz, 2018).

Motorické učení má svoji strukturu i dynamiku a lze jej rozdělit do čtyř fází, které dělí tréninkový proces do jednotlivých výkonostních skupin (Tab. 4) (is.muni.cz, 2018).

Tab. 4: Fáze motorického učení

Fáze	znaky	název	úroveň dovednosti	mentální aktivita	proces v CNS
1	počáteční seznámení, instrukce, motivace	generalizace	nízká	vysoká	iradiace
2	zpevnění, zpětná aferentace, slovní kontrola	diferenciace	střední	střední	koncentrace
3	zdokonalování, retence, koordinace	automatizace	vysoká	nízká	stabilizace
4	transfer, integrace, anticipace, výkon	tvořivá koordinace	mistrovská	vysoká	tvořivá asociace

Zdroj: (is.muni.cz, 2018)

První fáze zvaná generalizace je charakteristická seznámením trénovaného s pohybovou dovedností a prvními pokusy o její praktické provedení. Tyto pokusy bývají často nekoordinované a většinou trénovaný v této fázi provádí i jiné pohyby, které ovšem daná dovednost nevyžaduje. Proces iradiace, který v této fázi probíhá v centrální nervové soustavě (CNS), spočívá ve střídavé excitaci (zvýšení aktivity) a inhibici (snížení aktivity) objevujících se v různých oblastech mozkové kůry (Rychtecký, 2018).

Hlavním mechanismem druhé fáze zvané diferenciace je zpevňování, neboli "vytýkání" těch pohybů, které směřují ke správnému provedení nacvičované dovednosti. Pohyby v této fázi jsou v hrubé podobě zvládnuty a trénovaný je dovede správně (nikoliv však ekonomicky) provést. V centrální nervové soustavě je iradiace nahrazená koncentrací v těch oblastech mozkové kůry, které mají bezprostřední vztah k prováděnému pohybu (Rychtecký, 2018).

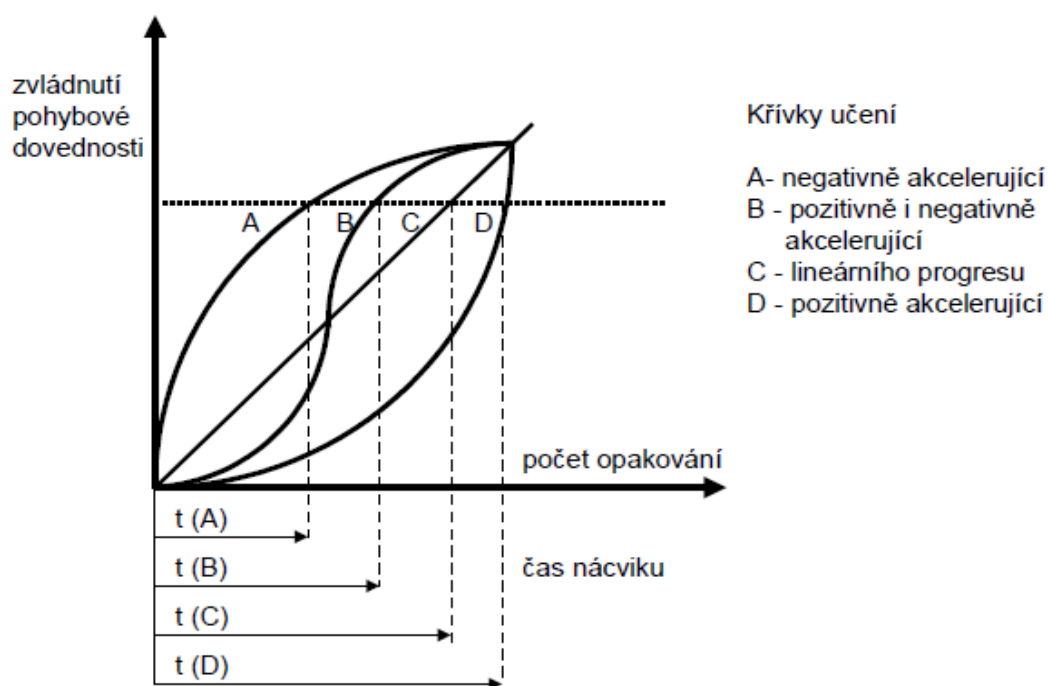
Fáze automatizace je charakteristická zdokonalováním pohybových dovedností a to jak z kvalitativního, tak i z kvantitativního hlediska. Tato fáze nevyžaduje díky plynulým a ekonomickým pohybům žádnou zvláštní koncentraci a v rámci centrální nervové soustavy dochází k pravidelnému střídání procesů excitace a inhibice (Rychtecký, 2018).

Název poslední fáze tvořivé koordinace, vychází z předpokladu, že proces učení by teoreticky neměl být nikdy ukončen. Proto je tato fáze charakteristická otevřenou variabilitou dosahování cílů a jistou dávkou kreativity uplatňující se v rámci automatizace pohybů (Rychtecký, 2018).

### 3.3.2. Křivka motorického učení

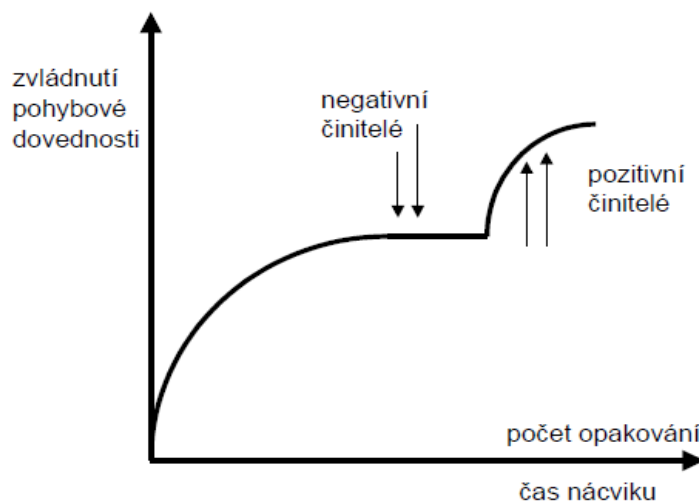
Osvojování si pohybových dovedností neprobíhá vždy lineárně. Vztah mezi počtem opakování tréninkových procesů, časem věnovaným učení a zdokonalováním pohybových dovedností je poměrně složitý a bývá ilustrován křivkou motorického učení. Ta je grafickým vyjádřením vztahu mezi počtem cvičebních lekcí či dobou trvání nácviku a zvládnutím pohybové dovednosti (Rychtecký, 2018).

Tvar křivky se liší podle složitosti pohybového úkolu, motivace, individuálních vlastností učícího se jedince nebo podle metody učení. To znamená, že pokud se zvyšuje úroveň dovednosti, nezvyšuje se lineárně společně s ní čas nutný k učení. Efektivita učení je rozdílná, jelikož je závislá na každém trénovaném (is.muni.cz, 2018).



Obr. 8: Křivka učení  
Zdroj: (Rychtecký, 2018)

Na obrázku 8 se nacházející čtyři možné průběhy křivky. Každá křivka je grafickým znázorněním vztahu mezi počtem opakování učené dovednosti a jejím zvládnutím. Na některých křivkách je možné spatřit tzv. plató efekt, což je stav, kdy s počtem učebních lekcí prakticky nedochází k žádnému pokroku v učení. Příčiny tohoto efektu mohou být buď objektivní (užití nevhodné metody vedoucí k přepětí, přetrénování, nedostatečné materiální vybavení) nebo subjektivní (nedostatečná motivace, únava, nesprávná životospráva, zhoršený zdravotní stav, nevhodné sociálně-psychologické klima) (is.muni.cz, 2018).



Obr. 9: Plató efekt  
Zdroj: (Rychtecký, 2018)

Průběh křivky učení může být ovlivňován několika činiteli, neboli nezávislými zásahy působící na průběh nácviku a jeho konečných výsledků. Tyto činitele můžeme rozdělit na činitele pozitivní (způsobující akceleraci v učení) a negativní (stlačování křivky dolů) (Rychtecký, 2018).

Je třeba zmínit i podstatu procesu motorického učení a tou je retence. Jedná se o uchování si naučené dovednosti v paměti, u které je tedy žádoucí, aby trénovaný pouze pasivně nefixoval motorické dovednosti, aniž by je neuměl později adekvátně využít. To by mohlo zpomalit proces učení a ten by se z toho důvodu nedal označit za efektivní (Rychtecký, 2018).



### 3.3.3. Křivka učení u operátorů

Výše zmíněná křivka učení se využívá i u školení harvesterových operátorů, kde se považuje za tradiční způsob vyhodnocování procesu učení. V těchto případech je křivka definována jako vztah mezi produktivitou a zkušenostmi. Jinými slovy, křivka učení popisuje vztah mezi růstem produkčních hodnot, které jsou dosaženy jednotlivými, jinak zkušenými operátory (Purfürst, 2010). Zde se ale vyskytuje problém nemožnosti přímého měření operátorových zkušeností a proto se jako měřitelné faktory používají operátorova produktivita a jiné faktory tuto produktivitu ovlivňující, které jsou závislé na času věnovanému tréninkovému procesu. Podstata využití křivky ovšem zůstává stejná a odkazuje na tvrzení, že čím déle trénuje operátor na harvesterovém simulátoru, tím více je "zkušený" a jeho produktivita bude nelineárně s časem stoupat. Výsledkem tedy je, že křivka učení u harvesterových operátorů porovnává vztah velikosti produktivity práce operátora v závislosti na pracovních cyklech nebo času věnovanému obsluze harvesterového simulátoru (Purfürst, 2007).

Pokud se stanovuje křivka učení operátora je potřeba brát v potaz, že její tvar bude pravděpodobně ovlivněn několika faktory (neboli výše uvedenými činiteli). Ty posouvají objem produkce u operátorů a proto je potřeba si uvědomit, že výsledný tvar křivky nemusí být přesným odrazem dané fáze v procesu učení (Purfürst, 2010).

Analýzy charakterizující křivky učení operátorů jsou vzácné, ovšem shodují se na jejím obecném dělení do dvou fází. První, tak zvaná fáze učení probíhá na tréninkových simulátorech, kde je možné poměrně důkladně zkoumat průběh učení díky jejich výstupům. Tato fáze je charakteristická neustále se zvyšujícím výkonem trénovaných, které můžeme popsat jako "nezkušené operátory". Druhá, tak zvaná pracovní fáze, kde operátory již označujeme za zkušené, bývá často ignorována, jelikož spočívá v práci s reálným harvestorem, kde už se předpokládá poměrně stálá úroveň produktivity trénovaných. Charakteristikou této fáze je poměrně stálý výkon operátora (Purfürst, 2007). Proto se křivka učení určuje hlavně ve fázi učení, kde má své opodstatnění a kde harvesterový simulátor umožňuje zaměřit se vyloženě na proces učení, nikoliv jen na produktivitu práce trénovaných operátorů (Purfürst, 2010).

Studie ukazují na to, že k největšímu nárůstu produktivity dochází během prvních 30 dní, ačkoliv často dochází k jejímu kolísání. Rozdíly v této fázi můžou mezi

jednotlivými dny být až dvojnásobné. Z toho je patrné, že rozdíl mezi velikostí produktivity "nezkušeného" a "zkušeného" operátora, čehož podle studií trénování operátorů dosáhnou v rozmezí osmi až dvanácti měsíců, bude značně vysoký (Purfürst, 2010).

Co se týká tvarů křivek jednotlivých operátorů, podle studií je možné nalézt určitou pravidelnost, spočívající v počátečním rychlém růstu a jejím následným srovnáním. Přesto ovšem stále musíme počítat s výše uvedeným faktem, že tvar křivek není dokonale přesný z důvodu působení různých faktorů. Tudíž je možné dříve nebo později spatřit u každého operátora určitý výkyv v produktivitě práce (Purfürst, 2010).

#### **3.3.4. Faktory ovlivňující křivku učení operátora**

Jelikož jsme si upřesnili použití křivky učení u operátorů ve vztazích mezi produktivitou a časem práce stráveném na harvestorovém simulátoru, je zřejmé, že můžeme vyloučit běžně se vyskytující faktory ovlivňující produktivitu práce v procesu výroby surového dříví harvestorem. Těmito faktory se myslí například počasí, terénní dostupnost, délka trvání jednotlivých směn, vývojová fáze těženého porostu a další. Pokud bychom ovšem chtěli vyjmenovat faktory, které mohou mít vliv na tvar křivky učení (vyjma již uvedeného času věnovanému tréninkovému procesu), mohli bychom použít věk, vzdělání, dovednosti a motivaci trénovaného, včetně jeho psychologického profilu (Purfürst, 2007). Některé z těchto faktorů byli v rámci různých studií zkoumány s výsledky popsány níže.

Věk byl studii zařazen mezi faktory, které do jisté míry ovlivňují výši produktivity a tudíž i tvar křivky. Obecně platí to, že mladší jedinci mají lepší předpoklady k tomu stát se harvestorovými operátory. Potvrzují to i jejich výkony, které poukazují na lepší schopnost porozumění lekcím a rychlejší získání určité formy praxe během tréninku s harvestorovým simulátorem. Mladší operátory rychleji a lépe rozvíjí své motorické dovednosti, které jsou potřebné k dosažení vyšší a kvalitnější produktivity práce. Na druhou stranu mladí trénování často projevují během opakujících se činností na simulátoru nízkou míru trpělivosti a přes to, že se obecně učí rychleji, se stává, že svých cílů nedosáhnou (Lopes et al., 2017).

Dovednosti a motivace trénovaného se též řadí mezi faktory se značným vlivem na velikost produkce, ačkoliv jsou velmi těžko měřitelné. V případě motivace se studie

odkazují na fakt, že pokud bylo během tréninků na harvesterovém simulátoru operátorovi umožněno nahlédnout do výstupních zpráv, jeho produkce byla značně vyšší oproti operátorovi, který tuto možnost neměl. Co se týká dovedností operátora, aby bylo možné jejich přesnější měření, bylo by vhodné provést několik psychologických a motorických testů, na jejichž základě by se poté dal popsat vliv na tvar křivky (Purfürst, 2007).

Vzdělání je studiem řazeno mezi faktory, které nijak významně neovlivňují velikost operátorovy produktivity. Na druhou stranu tyto studie podotýkají, že součástí operátorovy pracovní náplně je i administrativa nebo rozpoznání varovných signálů stroje, případně jeho závad a tudíž by jistá úroveň vzdělání měla být samozřejmostí (Lopes et al., 2017).

Pozorování průběhu křivky učení, založené na velikosti produktivity v závislosti na čase věnovanému tréninkovému procesu, je považováno za tradiční metodu hodnocení procesu učení během tréninkových procesů na harvesterovém simulátoru. Ovšem s příchodem moderní doby vzniká trend dávající obrovský důraz na pracovní pohodu lidí při práci. Tento trend proniká i do oblasti školení harvesterových operátorů a proto se začínají objevovat různé hypotézy, zda tvar křivky učení nemůže být ovlivněn i nepohodou operátora, která se nejčastěji projevuje stresem.

### **3.3.5. Stres**

V situaci, kdy je operátor poprvé posazen za harvesterový simulátor a má dosáhnout jistých cílů, objevuje se tzv. pracovní zatížení obsluhy. Toto zatížení je definováno jako psychosomatická reakce člověka na práci probíhající ve specifických podmínkách. Lze to tedy chápat jako jistou odpověď organismu na soubor působících vnějších podmínek z pracovního prostředí. Tyto podmínky nutí osobu reagovat změnou psychofyziologických funkcí. V případě, kdy pracovní zátěž dosáhne úrovně narušující pocit pracovní pohody, začíná se jednat o stres. Ten je na fyziologické úrovni možný rozeznat díky různým reakcím organismu projevujícím se zvýšením: krevního tlaku, srdeční frekvence, srdeční činnosti a krevního průtoku ve svalech (Dvořák et al., 2016).

I pokud bychom pominuli vliv stresu týkající se čistě jen operátorovy produktivity, sledování a analýzy působení vnějších podmínek na reakce organismu by

mohly z dlouhodobého hlediska posloužit ke snížení rizik, zranění a onemocnění, které jsou stresem způsobovány. K tomuto účelu se v oblasti školení harvestorových operátorů začíná využívat přístroj zvaný biofeedback (Natov et al., 2016).

### **3.3.6. Biofeedback**

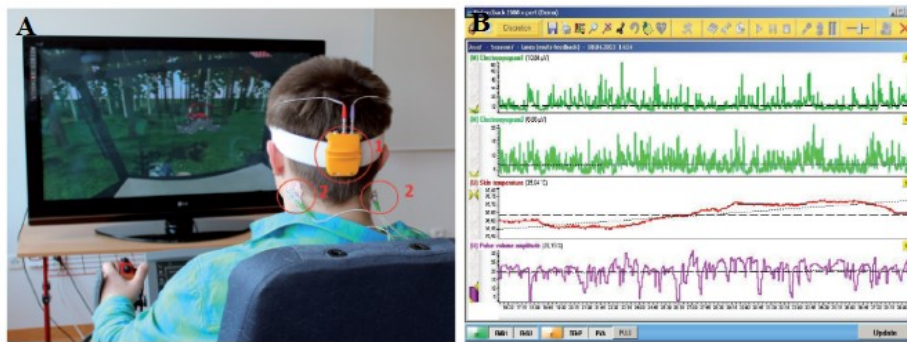
Biofeedback, neboli biologická zpětná vazba, je terapeutický postup, který zahrnuje měření fyziologických veličin v reálném čase a jejich současnou prezentaci pacientovi ve vhodné formě. Tento princip je založen na myšlence, že pacient je schopný do jisté míry vůlí ovlivnit prezentované hodnoty a díky tomu se je naučit částečně ovládat (cs.wikipedia.org, 2019). Jelikož se jedná o terapeutickou metodu založenou na principu operantního podmiňování (tzv. učení úspěchem) a učení obecně, využívá se biofeedback v indikaci široké škály poruch. Nejčastěji je spojován s případy léčby epilepsie a poruch pozornosti (ADD/ADHD), kde se o biofeedbacku mluví jako o slibné metodě. Postup léčby spočívá v promítání zpětné vazby ve formě hry, kdy je potřeba k dosažení cílů udržet parametry nastavené terapeutem. Cílem této terapie je, aby se pacient naučil rozpoznávat žádoucí stav a poté jej uměl i sám navozovat a udržovat. Výsledkem by měla být automatizace tohoto procesu (Kopřivová et al., 2008).

Pro použití v oblasti školení harvestorových operátorů se využívá biofeedback pasivním způsobem, kdy umožňuje záznam fyziologických funkcí trénovaných operátorů, který lze následně vyhodnocovat a tak optimalizovat výukový proces směrem k minimalizaci přetížení trénovaných (asystems.as, 2005). Zařízení dále umožňuje použití různých registračních modulů, které využívají povrchové elektrody pro měření fyziologických parametrů. Tyto parametry jsou poté pomocí bezdrátové technologie odeslány v podobě daných hodnot, které slouží k dalšímu zpracovávání (Dvořák et al., 2016).

Základem hardwaru Biofeedbacku 2000x-pert jsou rádiové moduly. Ty zabezpečují příjem a přenos signálů z povrchu těla do počítače pomocí bezdrátové technologie Bluetooth. Další z částí hardwaru biofeedbacku je rádiová pyramida, která má dosah až deset metrů a slouží jako přijímač rádiových vln. Ostatními hardwareovými součástmi jsou: dostupné elektrody, nabíječka k modulům a jejich přenosné pouzdro a čelenka pro připojení senzorů a modulů (asystems.as, 2005).

Ačkoliv téma využití biofeedbacku není v našich podmínkách příliš často studováno, objevují se občas studie zkoumající potenciál využití tohoto přístroje během školení operátorů. Jeho využití se zaměřuje na myšlenku využívající zpětnou vazbu jako motivující faktor, který by navýšil operátorovu produkci. V praxi by to fungovalo tak, že operátor by dostával zpětnou vazbu o svých prováděných pohybech a tudíž by tak mohl vědomě kontrolovat svoje pohyby a ovlivňovat tak úroveň své fyzické zátěže a i průběh práce na harvestorovém simulátoru (Natov et al., 2016).

V této diplomové práci ovšem nebude biofeedback sloužit operátorovi jako zpětná vazba pro zlepšení produkční hodnoty, ale jako zpětná vazba autorovi práce, který na základě jeho výstupů bude zkoumat, zda stres, projevující se změnou pulzu a teploty, má vliv na velikost produktivity a tím pádem i na tvar křivky učení.



Obr. 10: Biofeedback 2000x-pert; A - 1: modul měření pulzu a teploty, 2: EMG senzor, B - sekce měření časových řad fyziologických funkcí

Zdroj: (Dvořák et al., 2016)

## 4. Metodika práce

Základem praktické části této diplomové práce byl sběr dat. Pro tyto účely bylo vybráno šest trénovaných, kteří měli působit jako nově se školící operátoři na harvesterovém simulátoru. Z toho důvodu bylo nutné, aby vybraní trénovaní neměli žádnou zkušenost s jeho obsluhou. Dalšími podmínkami při výběru trénovaných bylo zahrnutí obou dvou pohlaví a snaha o zahrnutí různých věkových kategorií. Konečný vzorek trénovaných tedy zahrnoval čtyři muže a dvě ženy s věkovým rozmezím pohybujícím se od 16 do 43 let.

Úkolem trénovaných bylo pravidelné trénování na harvesterovém simulátoru, kde se měli pokoušet o co možná nejvyšší produktivitu během daného časového úseku. V rámci těchto tréninků museli dodržovat jisté podmínky, spočívající v co možná nejpřesnějším vymodelování skutečné harvesterové těžby. Při jejich průběhu byli trénovaní natáčeni a měřeni biofeedbackem, jejichž výstupy měly sloužit autorovi práce jako odrazový můstek pro zjišťování výsledků této práce.

### 4.1. Podmínky tréninků

Před tím, než byly trénovaní posazeni za harvesterový simulátor, bylo potřeba stanovit podmínky modelované situace. Pro účely měření byl pro všechny trénované vybrán totožný model, který zůstával na začátku každého tréninku stejný. Jinými slovy, trénovaní se na začátku každého měření objevovali na stejném místě ve stejném, nevytěženém porostu. S přihlédnutím k tomu, že převážná část trénovaných neabsolvovala vzdělání v oblasti lesnictví, byl vybrán scénář, který zahrnoval mýtní těžbu v poměrně mladém porostu (s nízkou průměrnou hmotností). Tento porost zahrnoval dva druhy dřevin (smrk a borovici) a pro oba dva druhy byly v softwaru simulátoru naprogramovány dva typy sortimentů.

Podmínky těžby pro trénované vycházely převážně z definic jednotlivých výrobních operací a těmi byly jízda, úchop, kácení a zpracování stromů. Jízda byla definována jako pohyb kol sloužící k přemísťování z jednoho místa na místo jiné. Za úchop se považoval pohyb ramene harvestoru, jehož cílem bylo uchopit strom pomocí těžební hlavice. Tato fáze byla ukončována spuštěním pily na těžební hlavici a v tuto chvíli začala operace kácení stromů, která byla ukončena pádem stromu na zem. V této fázi bylo podstatné korigovat směr pádu stromu. Poslední operace zpracování stromu

začala ve chvíli, kdy byl ukončen pád pokáceného stromu. V této fázi se jednalo hlavně o tvorbu hromad dříví rozdělených podle jednotlivých typů sortimentů. Fáze byla ukončována tzv. nulovou pozicí těžební hlavice.

Z výše uvedených definic tedy vznikly následující podmínky pro trénink na harvesterovém simulátoru. Trénovaným bylo dovoleno provádět pouze výše uvedené výrobní operace a to tedy jízdu, úchop, kácení a zpracování. Jízda se měla využívat pouze ve chvílích, kdy se v oblasti kolem harvestoru nevyskytoval žádný strom, na který by byl operátor schopen dosáhnout pomocí ramene harvestoru. Tato podmínka vznikla i za účelem snahy učení trénovaných k co možná nejmenšímu poškozování lesní půdy. Operace úchop, kácení a zpracování měly být prováděny tak, aby bylo patrné, že harvester se nachází na technologické lince a tudíž se počítá s následným průjezdem vyvážecího traktoru a nakládáním vytěženého dříví. To pro trénované znamenalo tvoření hromad dříví směřující kolmo na technologickou linku, které byly roztříděné na základě dřeviny a jejich sortimentů. Důležitou podmínkou pro trénované bylo též dodržování fyzikálních zákonů, projevující se například při využívání teleskopu během těžby, kdy mohlo docházet k vychýlení těžiště harvestoru, nebo při operaci zpracování, kdy se měla dodržovat nízká výška těžební hlavice harvestoru z důvodu menšího poškozování zpracovávaného dříví. Nebyl dovolen ani při operaci kácení nekoordinovaný pád stromu, který by mohl spadnout na kabinu operátora, což by při reálné těžbě mohlo mít fatální následky a nebyla povolena ani jistá "výpomoc" při zpracovávání těženého stromu, využívající podvozek harvestoru či jiné stromy jako opěrný bod pro změnu směru těženého stromu. Další podmínkou byl takový způsob úchopu stromů, aby možné zpeněžení bylo co největší, což v praxi znamenalo, že trénovaný se měl snažit o co možná nejnižší pařezy. Předpokladem bylo i to, že operace úchop, kácení a zpracování budou probíhat u každého stromu pouze jednou, nikoliv opakovaně.

Kvůli výše stanoveným podmínkám, bylo zapotřebí provést úvodní informační instruktáž. V té byly trénovaní s těmito podmínkami seznámeni, včetně cílů jejich tréninků a požadavků na ně kladených. Dále byli seznámeni i s teoretickým ovládním harvesterového simulátoru a způsobem měření jejich výkonů.

## 4.2. Průběh tréninků

Tréninky probíhaly na harvesterovém simulátoru John Deere, který se nacházel na Dřevařském pavilónu Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity. Tyto tréninky byly dlouhé 40 minut a každý měřený trénovaný se na ně musel dostavovat dvakrát týdně. Úkolem každého trénovaného pro daný trénink bylo dosažení co možná nejvyšší produktivity práce za dodržení výše stanovených podmínek. Pro cíle této diplomové práce bylo potřeba nejen samotné trénování na harvesterovém simulátoru, ale i získávání dat o pracovní zátěži trénovaných. K tomuto účelu byl využit již zmiňovaný Biofeedback 2000x-pert, pomocí kterého autor této práce měřil pulz a teplotu trénovaným během jejich tréninků. Toto zařízení umožňuje zobrazit až sedm rádiových modulů. Pro účely této diplomové práce byl používán modul MULTI, který získává zpětnou vazbu v rámci čtyř vstupů: vodivost pokožky, tep, teplota a hybnost. K získání výsledků diplomové práce sloužily vstupy dva a to: amplituda a frekvence pulzu snímaného z povrchu pokožky a teplota pokožky během doby trvání tréninku. Modul byl následně umístěn na příslušnou čelenku, která se během tréninků nasazovala trénovaným na hlavu tak, aby elektrody snímaly své hodnoty z pokožky v oblasti spánků. Bylo potřeba, aby mezi elektrodami a pokožkou nebyly žádné překážky v podobě vlasů a aby čelenka byla přiměřeně utažená.

Pro přenos dat ze snímajícího modulu byla využita rádiová pyramida, která byla zapojená do příslušného notebooku, který během měření ukazoval měřené hodnoty v reálném čase.

Aby bylo možné co nejpřesněji určit faktory ovlivňující křivku učení u zkoumaných trénovaných (to znamená zjistit míru vlivu stresu na velikost produkce trénovaného), bylo potřeba provést ještě jejich klidové měření. Z toho důvodu byl trénovaný před tréninkem a i po něm posazen na pohodlné místo a byla navozena klidná atmosféra, která měla za úkol daného trénovaného uklidnit. Cílem tohoto měření bylo získání jeho klidového pulzu a teploty. Každé z těchto klidových měření trvalo pět minut a trénovaný nebyl rušen žádnými vnějšími faktory.

Po prvním klidovém měření proběhl samotný trénink, který trval 30 minut. Trénovaný byl při něm posazen k harvesterovému simulátoru a ten měl ovládat tak, aby splnil daný úkol. Během tohoto tréninku byly stále zaznamenávány hodnoty pulzu a



teploty a veškeré operace, které trénovaný prováděl, byly natáčeny pro následující možné vyhodnocování.

Během těchto tréninků asistoval trénovaným autor této práce, obzvláště při prvních pokusech, kdy bylo zapotřebí převést úvodní informační instruktáž do praktické podoby a zároveň pomoci trénovaným v uvědomování si plnění podmínek a naučení se manuálního řízení harvesterového simulátoru. Trénink probíhal soustavně bez přerušení a pod dohledem autora této práce.

Po 30ti minutách tréninku byl trénovaný zpět přemístěn na pohodlné místo a měřila se druhá klidová fáze. Po doměření této klidové fáze byla trénovaným řečena jejich produkční hodnota za daný trénink.

Tréninky byly ukončeny přibližně po deseti týdnech nebo pokud trénovaní vykazovali poměrně stálou produktivitu.



Obr. 11: Ilustrační snímek z kamerového záznamu trénovaného

Zdroj: foto autor

### 4.3. Práce s daty

Produktem těchto tréninků byla výstupní data z harvesterového simulátoru, výstupní data z biofeedbacku a kamerový záznam daného tréninku.

Ve výstupních datech z harvestoru se nacházela produkční hodnota daného tréninku vyjadřená počty vytěžených stromů, či jejich objemy. Pro následující práci s

daty byla použita pouze hodnota počtu vytěžených stromů. Tím byl minimalizován vliv objemu těžných stromů, který mohl mezi jednotlivými tréninky kolísat a mohl by tak znehodnocovat data o velikosti produkce.

Výstupní data z biofeedbacku byly prezentovány hodnotami pulzu a teploty vyjádřené v daném čase. Pro zpracování těchto dat, bylo zapotřebí rozklíčovat jednotlivé výrobní operace v rámci kamerových záznamů z tréninků.

Před tímto rozklíčováním bylo ovšem potřeba provést časovou synchronizaci začátku měření biofeedbacku s časem kamerového záznamu. To bylo provedeno pomocí kamerových záznamů, které u každého tréninku byly točeny tak, aby na nich byl viditelný přesný čas začátku měření biofeedbacku. Díky tomuto úkonu se poté mohly přiřadit časy jednotlivých výrobních operací v kamerových záznamech k časovým intervalům nacházejícím se ve výstupních datech biofeedbacku.

Tab. 5: Výstupní pulz a teplota trénovaného měřených biofeedbackem a vyjádřených v průběhu jedné sekundy

	A	B	C	D	E
1	Zeit	U_13 SCL	U_15 Temp	U_18 Puls	Bemerkung
2	00:00:00.000	0	34,5200004577637	99,2555847167969	BG> Color
3	00:00:00.025	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
4	00:00:00.050	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
5	00:00:00.075	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
6	00:00:00.100	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
7	00:00:00.125	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
8	00:00:00.150	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
9	00:00:00.175	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
10	00:00:00.200	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
11	00:00:00.225	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
12	00:00:00.250	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
13	00:00:00.275	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
14	00:00:00.300	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
15	00:00:00.325	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
16	00:00:00.350	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
17	00:00:00.375	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
18	00:00:00.400	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
19	00:00:00.425	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
20	00:00:00.450	0	34,5200004577637	99,2555847167969	
21	00:00:00.475	0	34,5200004577637	101,010101318359	
22	00:00:00.500	0	34,5200004577637	101,010101318359	
23	00:00:00.525	0	34,5200004577637	101,010101318359	
24	00:00:00.550	0	34,5200004577637	101,010101318359	
25	00:00:00.575	0	34,5200004577637	101,010101318359	
26	00:00:00.600	0	34,5200004577637	101,010101318359	
27	00:00:00.625	0	34,5200004577637	101,010101318359	
28	00:00:00.650	0	34,5200004577637	101,010101318359	
29	00:00:00.675	0	34,5200004577637	101,010101318359	
30	00:00:00.700	0	34,5200004577637	101,010101318359	
31	00:00:00.725	0	34,5200004577637	101,010101318359	
32	00:00:00.750	0	34,5200004577637	101,010101318359	
33	00:00:00.775	0	34,5200004577637	101,010101318359	
34	00:00:00.800	0	34,5200004577637	101,867568969727	
35	00:00:00.825	0	34,5200004577637	101,867568969727	
36	00:00:00.850	0	34,5200004577637	101,867568969727	
37	00:00:00.875	0	34,5200004577637	101,867568969727	
38	00:00:00.900	0	34,5200004577637	101,867568969727	
39	00:00:00.925	0	34,5200004577637	101,867568969727	
40	00:00:00.950	0	34,5200004577637	101,867568969727	
41	00:00:00.975	0	34,5200004577637	101,867568969727	
42	00:00:01.000	0	34,5200004577637	101,867568969727	

K rozklíčování kamerových záznamů byl použit softwarový program ProTime Estimation. Ten umožnil zaznamenávání času jednotlivých výrobních operací (jízdu, úchop, kácení a zpracování) v rámci kamerového záznamu. Výsledkem tohoto rozklíčování byl mediánový čas trvání jednotlivých operací za každý trénink, počet jednotlivých operací za každý trénink a konkrétní čas kamerového záznamu, kdy došlo k dané operaci. Poslední zmiňovaný výstup byl důležitý pro následnou práci s výstupními daty z biofeedbacku, kde se na jejich základě dalo zjistit, jaké hodnoty pulzu a teploty měl trénovaný během konkrétních výrobních operací.

Na tomto základě bylo poté potřeba vyhodnotit data z biofeedbacku, které bylo nejdříve nutné rozdělit podle časových intervalů na jednotlivé výrobní operace. Jinak řečeno, výsledkem tohoto rozdělení byla upravená data biofeedbacku tak, aby z nich bylo patrné od kdy do kdy trvaly během tréninku jednotlivé výrobní operace. Následně se z těchto časových intervalů mohly vypočítat mediány pulzu a teploty popisující stav trénovaného během všech výrobních operací provedených během jednoho tréninku. Tyto mediány se poté roztřídily podle výrobní operace kterou popisovaly a následně se z nich vypočítaly celkové mediány za čtyři výrobní operace. Výsledkem z jednoho tréninku bylo tedy osm hodnot: čtyři mediánové pulzy a čtyři mediánové teploty popisující stav trénovaného v rámci všech čtyř výrobních operací.

Všechny výše uvedená výstupní data byla zpracovávána tak, aby z nich byly extrahovány podklady pro statistické zpracování v programu STATISTICA. Mezi tyto data patřily následující hodnoty:

- obecné informace: identifikace operátora, pohlaví, věk, dosažené vzdělání
- výstupní data z harvestoru: počet tréninků, počet vytěžených stromů
- zpracovaná data z kamerového záznamu pomocí programu ProTime Estimate: mediánová hodnota doby trvání výrobních operací za každý trénink, počet jednotlivých operací za každý trénink
- zpracovaná data z výstupu z biofeedbacku: mediánové hodnoty pulzu a teploty za jednotlivé pracovní operace každého tréninku, medián pulzu a teploty dohromady za všechny operace každého tréninku a hodnoty klidového pulzu a klidové teploty

Hodnota klidového pulzu a klidové teploty byla získána pro každého trénovaného z výpočtu mediánu klidových měření před a po. Vzešly z toho čtyři hodnoty, kde se u pulzu vybrala nižší hodnota z důvodu výše uvedeného faktu, že stres se projevuje zvýšením srdeční činnosti. U teploty se vybrala ta hodnota klidového měření, která byla změřena po tréninku. Bylo tak učiněno na základě minimálních změn v hodnotách měření a na základě toho, že na začátku prvního klidového měření se snímač teploty postupně zahříval na tělesnou teplotu trénovaného a proto ze začátku teplotní hodnotu podhodnocoval.

Na výsledných datech, které byly dále vyhodnocovány v programu STATISTICA, bylo nejdříve provedeno základní statistické zpracování, podávající obecné informace o výsledcích diplomové práce. Toto zpracování bylo provedeno pro všechny proměnné, které jsou uvedeny výše. Dále byla data zpracovávána pomocí regresně-korelačních analýz, díky kterým autor práce určoval míru závislosti jednotlivých veličin. Tyto analýzy byly použity pro počty vytěžených stromů, počty a doby trvání výrobních operací a pro hodnoty zátěžového pulzu ve výrobních operacích, to vše v závislosti na počtu tréninků. V poslední řadě byla data podrobena analýzám rozptylu, neboli tzv. ANOVĚ, ověřující statistickou významnost vlivu proměnných na hodnotu závisle proměnných. K těmto účelům byl použit i tzv. Tukey HSD test, neboli Tukeyův test rozsahu, který slouží k vícenásobnému porovnání. Tento test se vztahuje na soubor všech párových srovnání a identifikuje rozdíl mezi nimi. Těmito analýzami byly testovány stejné proměnné, které byly použity i při vyhodnocování regresně-korelačními analýzami.

## 5. Výsledky a diskuze

### 5.1. Vyhodnocení parametrů datové sady

Jako první byly provedeny popisné statistiky za všechny trénované a všechny počty tréninků (Tab. 6), jejichž výsledky jsou následující. Při porovnávání mediánového pulzu a mediánové teploty byla na základě jejich směrodatné odchylky a variačního koeficientu potvrzená hypotéza, že hodnota teploty je prakticky neměnná a tudíž v následujících zpracováních nebude považována za významnou veličinu. To můžeme sledovat i u měřených klidových parametrů, kde směrodatná odchylka a variační koeficient dosahují u teploty taktéž minimálních hodnot. Z výsledků je patrné i to, že výrobní operace jízda bude vyžadovat speciální přístup, který ji bude odlišovat od zbylých operací úchopu, kácení a zpracování. Tento závěr je viditelný při porovnávání mediánů, směrodatných odchylek a variačních koeficientů, které se určovaly u počtu a délky trvání výrobních operací, včetně jejich pulzových hodnot. Viditelný je i rozdíl mediánových hodnot pulzu za celkové operace v porovnání pulzem klidovým. Z toho vyplývá, že u trénovaných je při práci s harvestorovým simulátorem patrný stres, který pominul pokud byla tato práce ukončena.

Tab. 6: Popisné statistiky za všechny operátory a tréninky

Proměnná	Platné případy N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	SD - směrodatná odchylka	CV - koeficient variace
mediánový pulz všech operací	60	84,36500	83,85000	61,0000	114,3000	11,04496	13,092
mediánová teplota všech operací	60	35,30000	35,35000	34,1000	36,0000	0,49609	1,405
mediánový pulz operace jízda	60	73,45500	80,80000	0,0000	109,7000	29,43160	40,068
mediánový pulz operace úchop	60	84,40750	83,90000	61,2500	114,0000	11,12077	13,175
mediánový pulz operace kácení	60	84,48500	84,02500	62,3500	114,5000	10,67189	12,632
mediánový pulz operace zpracování	60	84,54500	84,00000	60,6500	114,7000	11,10197	13,131
počet vytěžených stromů	60	20,78333	21,00000	12,0000	34,0000	4,97142	23,920
mediánová doba trvání operace jízda	60	31,56983	27,91500	0,0000	94,4800	20,38310	64,565
mediánová doba trvání operace úchop	60	34,43650	30,78000	17,0200	74,8000	12,21224	35,463
mediánová doba trvání operace kácení	60	3,45983	3,36500	2,0300	6,2600	0,81029	23,420
mediánová doba trvání operace zpracování	60	51,62817	48,46500	30,2100	87,4100	14,13999	27,388
počet operací jízda	60	1,61667	1,00000	0,0000	6,0000	1,16578	72,110
počet operací úchop	60	21,01667	21,00000	12,0000	34,0000	5,01689	23,871
počet operací kácení	60	20,80000	21,00000	12,0000	34,0000	4,96701	23,880
počet operací zpracování	60	20,78333	21,00000	12,0000	34,0000	4,97142	23,920
mediánová hodnota klidového pulzu	60	77,04000	77,75000	69,7000	82,3000	4,15091	5,388
mediánová hodnota klidové teploty	60	35,42167	35,50000	34,7000	36,0000	0,41501	1,172

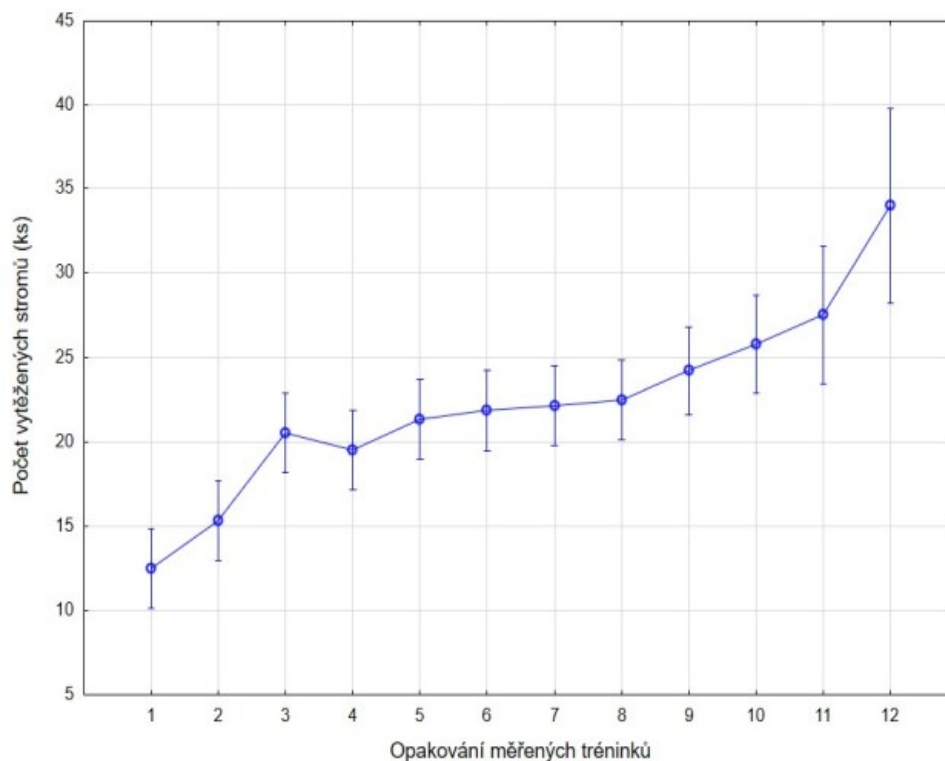
Popisné statistiky, které byly dále vypočteny jednotlivě za trénované, sloužily pro jejich porovnání ve výše uvedených proměnných. Tyto statistiky jednotlivě porovnávaly trénované za všechny tréninky a výsledné závěry jsou následující. U pěti ze šesti trénovaných byl viditelný poměrně značný rozdíl mezi mediánovým pulzem všech operací a jejich klidovým pulzem. To znamená, že u těchto trénovaných byla zřetelná jistá míra stresu. Dále byla při porovnávání velikosti produkce trénovaných zjištěna podobná hodnota v počtu vytěžených stromů, ovšem pouze u pěti ze šesti trénovaných. Tyto hodnoty jsou patrné i při porovnávání počtu operací úchop, kácení a zpracování, které dosahují velmi blízkých hodnot, jako hodnoty počtu vytěžených stromů. I v případě porovnávání doby trvání jednotlivých operací, jsou závěry plynoucí ze statistických vyhodnocení totožné, jelikož u této proměnné je snaha o co možná nejmenší možnou hodnotu (na základě faktu, že doba trvání pracovních operací se s rostoucím počtem vytěžených stromů snižuje).

Z těchto popisných statistik nebyly patrné žádné rozdílné hodnoty, které by souvisely s rozdělením na základě pohlaví trénovaných, jejich věku, či úrovně dosaženého vzdělání.

## **5.2. Tradiční metody sledování křivky učení**

Na obrázku 12 je patrná závislost mezi počtem tréninků a počtem vytěžených stromů. Během pozorovacího období se počet vytěžených stromů za všechny trénované skoro ztrojnásobil. Statistické analýzy rozptylu potvrdily, že závislost mezi těmito dvěma veličinami je významná. Míra závislosti je díky hodnotě korelačního koeficientu  $r=0,85$  považována za těsnou a má vysoký koeficient determinace  $r^2=0,73$ . Z tabulek 7 a 8 je patrné i to, že k největšímu navýšení počtu vytěžených stromů docházelo u trénovaných mezi prvním a třetím tréninkem, kde docházelo k nejvýraznějším pokrokům v rámci manuální obsluhy harvesterového simulátoru. Po třetím tréninku můžeme sledovat lehčí pokles v počtu vytěžených stromů, který může být vysvětlen diferenční fází motorického učení, ve které dochází k naučení se správných pohybů, nikoliv však k jejich ekonomickému provedení. Od čtvrtého tréninku velikost produkce pouze stoupá, dochází tedy k navyšování počtu vytěžených stromů. Z toho vyplývá, že trénování se v této fázi zdokonalovali ve svých motorických dovednostech a učili se nejjedlejší ekonomické provedení těchto pohybů. Díky tomu nedochází k žádným

dalším významným statistickým rozdílům v počtu vytěžených stromů, ačkoliv obrázek velikosti produkce zaznamenal u 12 měření výrazný výkyv. Zde je však potřeba vzít v úvahu, že toto měření se týkalo pouze jednoho trénovaného, jehož produkční hodnota se navíc během všech tréninků pohybovala poměrně vysoko.



Obr. 12: Počet vytěžených stromů v závislosti na počtu tréninků

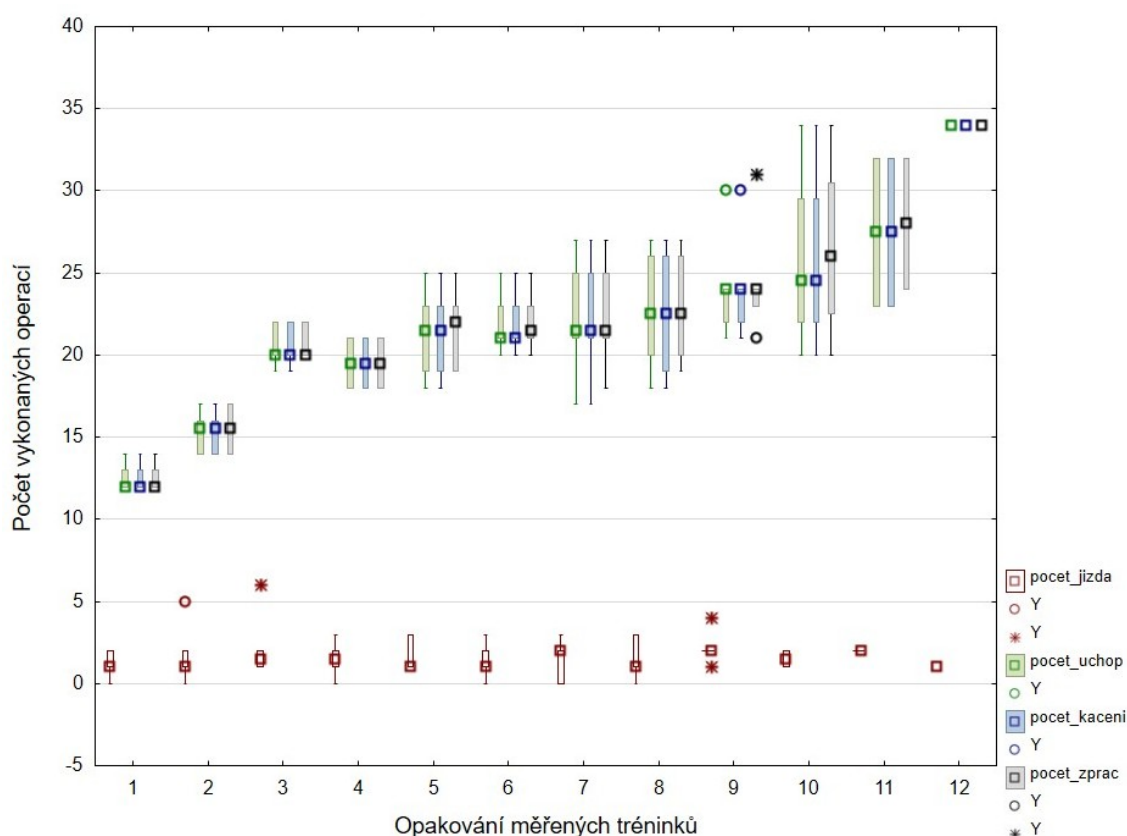
Tab. 7: Statistická analýza závislosti počtu vytěžených stromů na počtu tréninků

Závislá proměnná	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Upravený koeficient determinace	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	p
Počet vytěžených stromů	0,852523	0,726795	0,664185	1059,800	11	96,34545	398,3833	48	8,299653	11,60837	0,000000

Tab. 8: Statisticky významné rozdíly počtu vytěžených stromů během tréninků

Opakování měření tréninků	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0,857834	0,000956	0,005759	0,000267	0,000173	0,000148	0,000136	0,000127	0,000126	0,000128	0,000126
2	0,857834		0,110712	0,361603	0,031772	0,013829	0,007738	0,004281	0,000463	0,000174	0,000358	0,000137
3	0,000956	0,110712		0,999977	0,999996	0,999611	0,996979	0,986296	0,611094	0,203101	0,147927	0,003920
4	0,005759	0,361603	0,999977		0,993192	0,957378	0,899465	0,808017	0,260375	0,060215	0,054442	0,001477
5	0,000267	0,031772	0,999996	0,993192		1,000000	0,999996	0,999892	0,883852	0,441667	0,296878	0,008640
6	0,000173	0,013829	0,999611	0,957378	1,000000		1,000000	1,000000	0,966272	0,621056	0,420102	0,013750
7	0,000148	0,007738	0,996979	0,899465	0,999996	1,000000		1,000000	0,989284	0,737067	0,512348	0,018607
8	0,000136	0,004281	0,986296	0,808017	0,999892	1,000000	1,000000		0,997646	0,836809	0,607966	0,025015
9	0,000127	0,000463	0,611094	0,260375	0,883852	0,966272	0,989284	0,997646		0,999609	0,964027	0,110957
10	0,000126	0,000174	0,203101	0,060215	0,441667	0,621056	0,737067	0,836809	0,999609		0,999892	0,329431
11	0,000128	0,000358	0,147927	0,054442	0,296878	0,420102	0,512348	0,607966	0,964027	0,999892		0,786856
12	0,000126	0,000137	0,003920	0,001477	0,008640	0,013750	0,018607	0,025015	0,110957	0,329431	0,786856	

Výše uvedená tvrzení podporují i analýzy počtu pracovních operací. U těchto analýz můžeme sledovat vzrůstající trend u pracovních operací úchop, kácení a zpracování. Graf těchto veličin (Obr. 13) má téměř totožný průběh, jako graf ukazující závislost počtu vytěžených stromů na počtu tréninků (Obr. 12). Důvodem, proč grafy nemají přesně totožný průběh, je ten, že k vytěžení jednoho stromu bylo potřeba provést právě jeden úchop, právě jedno kácení a právě jedno zpracování. Proto je logické, že počet těchto operací by se měl rovnat počtu vytěžených stromů za daný trénink. Problém je ovšem v tom, že trénování, u kterých probíhal proces učení, se mohli splést během ovládní harvesterového simulátoru a tudíž jim v některých fázích mohl strom vypadnout z těžební hlavice. Důsledkem proto bylo následné opakování téže výrobní operace a tudíž došlo k navýšení jejího počtu. Proto čísla počtů výrobních operací nemusí být totožná s počtem vytěžených stromů.



Obr. 13: Počet vykonaných operací v závislosti na počtu tréninků, (o - odlehle hodnoty, \* - extrémní hodnoty)

Přes tento fakt byly ovšem rozdíly v počtu všech tří vykonaných operací v jednotlivých měřených trénincích programem STATISTICA vyhodnoceny jako



statisticky významné, silně závislé a s vysokým koeficientem determinace (Tab. 9). Statistická proměnná počet jízd, nebyla vyhodnocena jako statisticky významně se měnící veličinou, čemuž odpovídá i obrázek 13, kde hodnoty této proměnné kolísají jenom mírně a jsou poměrně nízké.

Tab. 9: Statistická analýza závislosti počtu výrobních operací na počtu tréninků

Závislá proměnná	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Upravený koeficient determinace	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	p
počet operací jízda	0,278443	0,077531	-0,133869	6,217	11	0,5652	73,97	48	1,5410	0,366750	0,962805
počet operací úchop	0,854720	0,730546	0,668797	1063,383	11	96,6712	392,217	48	8,17118	11,83075	0,000000
počet operací kácení	0,852523	0,726795	0,664185	1059,800	11	96,34545	398,38330	48	8,299653	11,60837	0,000000
počet operací zpracování	0,869019	0,755194	0,699092	1121,450	11	101,9500	363,533	48	7,57361	13,46121	0,000000

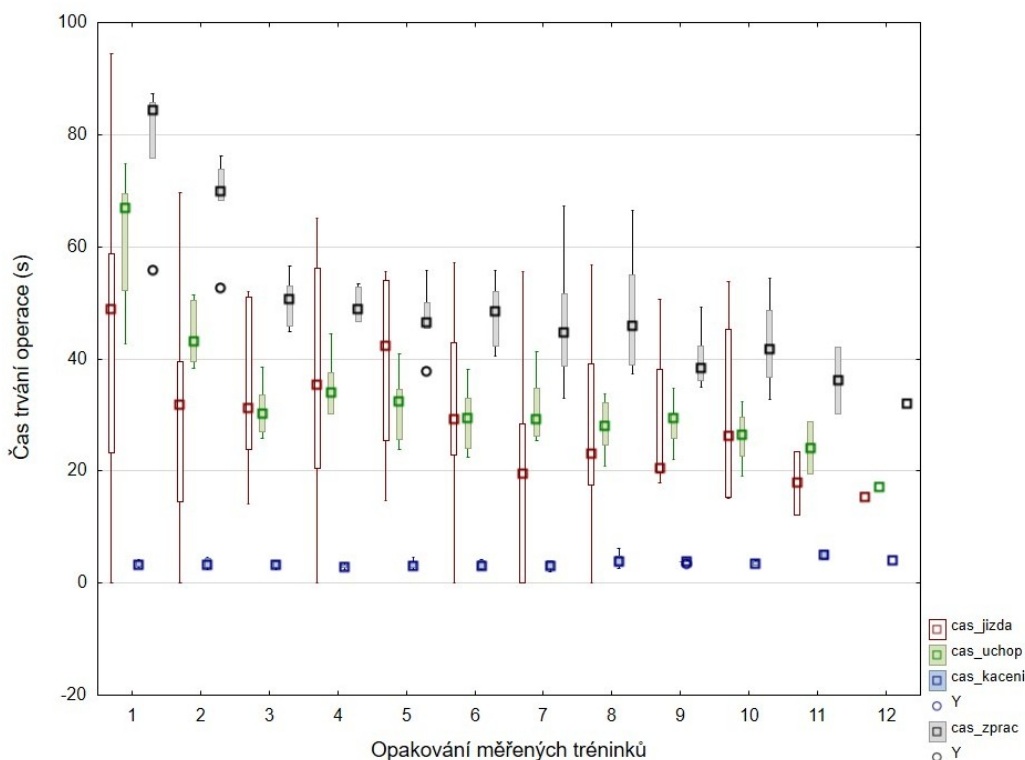
Výše uvedená tvrzení podporují i statistické výstupy ANOVY pro čas trvání operací úchopu a zpracování. Ty vykazují sestupný trend a podporují tak fakt, že čím více měřených tréninků trénování podstoupili, tím méně času potřebovali na jednotlivé výrobní operace. Analýzy času úchopu a času zpracování se ukázaly jako statisticky významné s vysokou závislostí na počtu tréninků (Tab. 10).

Výrobní operace kácení byla proti dvěma předchozím operacím statistikami vyhodnocena jako statisticky nevýznamná díky hodnotě  $p=0,14$ . To může být vysvětleno pomocí definice dané operace. Ta je časově ohraničená tak, že začíná spuštěním pily těžební hlavice a končí dopadem stromu na zem. Pokud v této fázi nedojde k zaklesnutí těžného stromu o strom jiný, tak doba trvání této operace by se stále měla pohybovat v rozmezí několika vteřin. Z toho důvodu nelze vzít tuto operaci v úvahu, pokud chceme porovnávat závislost mezi její dobou trvání a počtem vytěžených stromů.

Podobně musíme přistupovat i k operaci jízda, která též není nikterak závislá na počtu vytěžených stromů a kterou ani program STATISTICA díky hodnotě  $p=0,77$  nevyhodnotil jako statisticky významnou veličinu ovlivňující počet vytěžených stromů.

Tab. 10: Statistická významnost a závislost času jednotlivých výrobních operací na počtu tréninků

Závislá proměnná	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Upravený koeficient determinace	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	p
mediánová doba trvání operace jízda	0,362641	0,131509	-0,067520	3223,647	11	293,0588	21289,14	48	443,5237	0,660751	0,767375
mediánová doba trvání operace úchop	0,876769	0,768724	0,715723	6764,152	11	614,9229	2035,040	48	42,39667	14,50404	0,000000
mediánová doba trvání operace kácení	0,514670	0,264885	0,096421	10,26103	11	0,932821	28,47667	48	0,593264	1,572354	0,137763
mediánová doba trvání operace zpracování	0,847483	0,718227	0,653655	8472,509	11	770,2281	3323,906	48	69,24804	11,12274	0,000000



Obr. 14: Čas vykonaných operací v závislosti na počtu tréninků, (o - odléhlé hodnoty)

### 5.3. Moderní metody sledování křivky učení

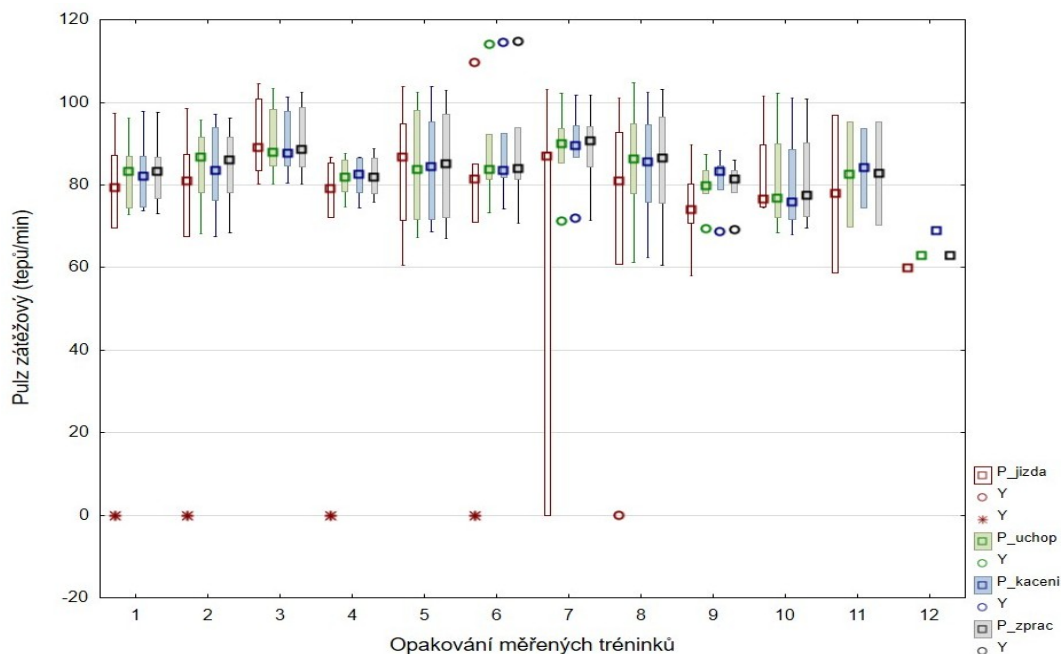
Všechny výše uvedené výsledky jsou běžnými veličinami, které se považují za tradiční metody sledování křivky učení a které se chovaly podle očekávaného vývoje. Následující výsledky jsou výstupem z analýz, které hodnotí moderní metody založené na využití biofeedbacku a sledování vývoje pulzu. Teplota, jak již bylo výše řečeno, byla vyloučena jako faktor, ukazující míru stresu trénovaného a proto se analýzy zpracovávaly pouze pro pulz.

Pomocí analýz rozptylu bylo zjištěno, že jak celkový medián pulzu za všechny operace, tak i medián pulzu v rámci jednotlivých operacích se nedá považovat za statisticky významnou veličinu, která by byla ovlivňována zvyšujícím se počtem tréninků (Tab. 11). Bylo tak učiněno na základě hodnot  $p$ , která u všech zmiňovaných proměnných přesáhla požadovanou hodnotu 0,05.

Tab. 11: Statistická významnost a závislost zátěžového pulzu za všechny operace dohromady i zvlášť na počtu tréninků

Závislá proměnná	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Upravený koeficient determinace	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	Suma čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	P
mediánový pulz všech operací	0,385984	0,148983	-0,046041	1072,304	11	97,48218	6125,173	48	127,6078	0,763920	0,672999
mediánový pulz operace jízda	0,301618	0,090973	-0,117346	4649,356	11	422,6687	46457,55	48	967,8657	0,436702	0,931399
mediánový pulz operace úchop	0,387047	0,149805	-0,045031	1093,071	11	99,37013	6203,543	48	129,2405	0,768878	0,668373
mediánový pulz operace kácení	0,353349	0,124856	-0,075698	838,9645	11	76,26950	5880,502	48	122,5105	0,622555	0,800485
mediánový pulz operace zpracování	0,384564	0,147890	-0,047385	1075,451	11	97,76825	6196,523	48	129,0942	0,757340	0,679135

Na obrázku 15 jsou patrné i důvody, proč je tato veličina považována za statisticky nevýznamnou. Pokud by mělo dojít k potvrzení teorie, že stres je významný ovlivňující faktor velikosti produkce a tudíž tvaru křivky, bylo by logické, kdyby se pulz (který je reakcí organismu na stres) během zvyšujícího se počtu tréninků snižoval. Docházelo by k tomu v důsledku toho, že trénovaní by si byli více jistější v rámci obsluhy harvestorového simulátoru a tedy i méně vystresovaní. Na obrázku 15 ovšem k žádnému snižování zátěžového pulzu nedochází, naopak jeho průběh kolísá kolem střední hodnoty a se zvyšujícím se počtem absolvovaných tréninků prakticky neklesá. Proto nelze tuto veličinu považovat za statisticky významnou.



Obr. 15: Průběh zátěžového pulzu za jednotlivé výrobní operace v závislosti na počtu tréninků, (o - odléhlé hodnoty, \* - extrémní hodnoty)

Moderní metody sledování křivky učení operátorů v této práci nebyly shledány významnými natolik, aby u nich bylo možné samostatné využívání při pozorování vývoje křivky učení. Jako první v průběhu pozorování byla vyřazena teplota jakožto nevýznamný faktor, který by ovlivňoval tvar křivky. Bylo tak učiněno na základě toho, že tyto hodnoty nevykazovaly během tréninků žádnou podstatnou změnu a podávaly víceméně stejné údaje během všech měření. Naproti tomu hodnoty pulzu vykazovaly poměrně značnou proměnlivost a i při porovnání zátěžového a klidového pulzu byl u pěti ze šesti trénovaných zjištěn podstatný rozdíl. Tento rozdíl byl výsledkem prvního statistického vyhodnocení popisující obecné charakteristiky trénovaných, u kterých bylo patrné, že zatěžový pulz při tréninkových fázích je vyšší než pulz, který byl měřen ve fázi klidové. To mohlo na první dojem působit jako výsledek podporující hypotézu, u které by stres vystupoval jako ovlivňující faktor velikosti produkce.

Ovšem poté byly provedeny analýzy rozptylu, u kterých byl zjištěn závěr opačný, a to, že trénovanost se na pulzu trénovaných neprojevila jeho významným snížením. Tomuto faktu odpovídaly i grafy, ze kterých se dala vyčíst značná kolísavost této veličiny během narůstajícího se počtu tréninků a nebyla v nich nalezena žádná závislost. Na základě těchto analýz byla výše uvedená hypotéza vyvrácena. Důvody,

proč výsledky z analýzy rozptylu vyvrátily hypotézu, ačkoliv v obecných popisných statistikách je viditelný značný rozdíl mezi pulzem v klidové a zátěžové fázi, mohou být následující.

Jako první je třeba si uvědomit fakt, že každý z trénovaných přicházel na každý trénink v různém fyziologickém a psychologickém rozpoložení. Kvůli této individualitě se nemohlo stát, že by trénovaní jednotlivě vykazovali stálou fyziologickou odezvu na danou situaci. Tento fakt bylo možné sledovat i na variabilních hodnotách klidového pulzu, které byly značně rozdílné u každého ze trénovaných. Pokud by byla potřeba upřesnit vliv fyziologického a psychologického rozpoložení na míru stresu, bylo by nutné jej u každého trénovaného co nejpřesněji identifikovat a pojmenovat. K tomu by mohly sloužit jisté formy dotazníků, které by byly podávány před každým měřením trénovaného a ve kterých by se dotazovalo na jeho daný stav. Vyhodnocování těchto dotazníků by ovšem sloužilo spíše jako pomocná ruka při rozklíčování motorických dovedností trénovaných při každém tréninku, než jako odrazový můstek pro stanovení míry stresu. Je to tak z toho důvodu, že ačkoliv by dotazníky byly sebelepší, nelze z nich jednoznačně určit přesnou výši vlivu na velikost stresu a tudíž by ani nemohl být tento vliv číselně vyjádřen.

Jako další je potřeba si uvědomit rozdíl mezi přítomností stresu a jeho vlivem na velikost produkce. Tato diplomová práce byla zaměřena na druhý z jmenovaných pojmů, který byl analýzami rozptylu vyvrácen. Přesto bylo z výsledků popisných statistik viditelné, že určitá míra stresu během tréninkového procesu je přítomna. A ačkoliv je stres brán jako fyziologická odezva na působení vnějších podmínek narušující pracovní pohodlí, není nutné ke stresu přistupovat jako k faktoru limitující výkon trénovaných. Jinými slovy, ačkoliv bylo během vyhodnocování kamerových záznamů a z výsledků popisných statistik patrné, že někteří z trénovaných se ocitají ve stavu, kdy podmínky pracovní zátěže dosáhly úrovně narušující pocit pracovního pohody, nebylo možné na tomto základě určit, zda tento stav nepohody má nebo nemá vliv na velikost produkce trénovaného.

Naproti moderním metodám sledování křivky učení, tradiční metody dosáhly v této práci očekávaných hodnot.

Průběh křivky učení vyjádřený počtem vytežených stromů závislých na počtu tréninků měl převážně stoupající trend. K největšímu navýšení počtu vytežených stromů

docházelo mezi prvním a třetím tréninkem, po němž nastal výše uvedený plató efekt, který byl způsobený přechodem do diferenční fáze motorického učení. Následná měření velikosti produkce měly pouze stoupající trend, ve kterých se ovšem už nevykazovaly tak obrovské rozdíly, jako byly během prvních tří tréninků. Konečný počet tréninků se lišil v závislosti na velikosti produkce, či na době během které tréninky probíhaly a tento fakt je možné vidět i na konci průběhu křivky učení. Kvůli této nesrovnalosti dochází ve výsledcích k poměrně značnému výkyvu u dvanáctého tréninku, u kterého dojde k podobně velkému odskoku v počtu vytěžených stromů, jako mezi prvním a třetím tréninkem. Principem této nesrovnalosti je skutečnost, že dvanácté měření absolvoval pouze jeden trénovaný, který během svých tréninků vykazoval stále se zvyšující produkci a navíc v porovnání s ostatními trénovanými dosahoval nejvyšších výsledků během jednotlivých tréninků. Až na tento výkyv, tvary křivek trénovaných měly totožné tvary se křivkami učení operátorů, kteří bylo pozorováni v zahraničních studiích. A i u tohoto výkyvu se dá předpokládat, že časem by se velikost produkce konkrétního trénovaného dříve či později ustálila a jeho křivka učení by měla podobný tvar.

Téměř současně s počtem vytěžených stromů rostly i výrobní operace úchop, kácení a zpracování stromů. Jak již bylo výše řečeno, počty výrobních operací by měly logicky odpovídat počtu vytěžených stromů, jelikož na těžbu jednoho stromu je potřeba provést právě jeden úchop, právě jedno kácení a právě jedno zpracování. Naproti tomuto tvrzení, graf ukazující počet těchto výrobních operací v závislosti na počtu tréninků, zaznamenává i jisté anomálie, které jsou způsobeny chybou trénovaného v ovládání harvesterového simulátoru. Většinou se jednalo o použití špatného tlačítka na ovládacím panelu a z toho důvodu byla omylem daná výrobní operace přerušena. Proto bylo následně nutné danou operaci opakovat a chybu tak napravit, což se projevilo navýšením počtu provedení dané výrobní operace, která se následně projevila i anomálií na grafu. Co se týká výrobní operace jízda, její definice nepředpokládá, že počet jízd bude stejný jako počet vytěžených stromů. Je to tak z toho důvodu, že z jedné pracovní pozice harvestoru je možné pomocí jeho ramene vytěžit více stromů a není tedy nutné, aby harvester zajížděl ke každému stromu zvlášť. Z toho důvodu je možné sledovat poměrně stálý počet jízd, který není nijak závislý na počtu tréninků.

S tradičními metodami souvisí i snižující se doba trvání jednotlivých operací, která i v této práci dosáhla očekovaných výsledků. Doba trvání operací úchop a zpracování se se zvyšujícím se počtem tréninků snižovala a díky tomu bylo možné vytěžit více stromů za daný časový limit. Doba trvání operace jízda není v tomto případě považována za veličinu, která by byla na čemkoliv závislá. A co se týká doby trvání výrobní operace úchop, jak již bylo výše řečeno, ta vyžaduje speciální přístup na jehož základě se autorem dosažené hodnoty chovají podle očekávání.

Při porovnávání moderních a tradičních metod sledování křivky učení bylo možné sledovat vliv i jiných faktorů, které by mohly způsobit rozdílnou velikost produkce a přesto, že tyto faktory byly pozorovány a vyhodnocovány, nebyl zjištěn žádný takový, který by nějak významně ovlivňoval produkční hodnotu. Mezi tyto faktory patří například pohlaví trénovaného, jeho věk, či dosažená úroveň vzdělání. V této práci bylo zjištěno na základě statistického zpracování, že rozdíl mezi muži a ženami není statisticky významný. Jak muži tak ženy vykazovaly poměrně stejnou velikost produkce v závislosti na času a i z kamerových záznamů nebyly patrné žádné významné rozdíly ve formě dodržování stanovených podmínek. Ani úroveň dosaženého vzdělání nebyla shledána jako statisticky významný faktor ovlivňující velikost produkce. Tudíž ačkoliv trénovaní dosáhli vzdělání technického či netechnického, nebyl znát žádný rozdíl mezi jejich produkčními hodnotami.

Ovšem zajímavým faktorem, který byl studiemi uznán jako faktor, ovlivňující tvar křivky učení, je věk. Věkové rozmezí trénovaných se u této práce pohybovalo od 16 do 43 let a tudíž bylo možné sledovat jisté potenciální rozdíly ve velikosti produkce během tréninků na harvesterovém simulátoru. Studie uvedené v literární rešerši tvrdily, že mladší, školící se operátoři rychleji porozumí lekcím a rychleji si osvojí jistou formu ovládnutí harvesterového simulátoru, což jim dá i lepší průpravu na práci operátora. I při vyhodnocování dat této práce byl zaznamenán jistý rozdíl ve velikosti produkce napříč věkovými kategoriemi, kde starší věkové kategorie vykazovaly poměrně brzy jistou stabilitu v produkční hodnotě, která byla v poměru s mladšími věkovými kategoriemi nižší. Mladší věkové kategorie vykazovaly tedy větší velikost produkce, na druhou stranu jim trvalo déle, než došlo k jejímu ustálení. Z prvního pohledu by se tedy mohlo zdát, že výsledky této práce souhlasí se studiemi, ovšem je potřeba vzít v úvahu i následující pohled na danou problematiku. Při rozklíčování kamerových záznamů a i

během jednotlivých tréninků byl znatelný rozdíl v rámci věkových kategorií u dodržování podmínek modelované situace. Z těchto tréninků bylo znatelné, že trénovaní starší věkové kategorie přísněji a lépe dodržovali podmínky, byli pečlivější a vyskytovalo se u nich minimum chyb. Naproti tomu u mladších trénovaných docházelo k častějšímu výskytu chyb, častějšímu porušování stanovených podmínek a rychlejší ztrátu pečlivosti. Jinými slovy rozdíl mezi věkovými kategoriemi spočíval nejen v kvantitě produkce, ale i v kvalitě, ve které ovšem starší věkové kategorie měly převahu. Tyto rozdíly ovšem nemusí spočívat v odlišnosti dosaženého věku, ale mohou mít jistý základ i v psychologickém profilu trénovaného. V kapitole "Předpoklady operátorů" je zmíněná trpělivost, jako důležitá vlastnost, kterou by operátor měl mít. Není ovšem velkým překvapením, že mladší trénovaní většinou touto vlastností přílišně neoplyvají, což může působit jisté potíže, zvláště u cyklicky se opakujících výrobních operací harvestoru. Z toho důvodu se často stává, že mladší trénovaní rychleji během tréninků ztrácí koncentraci a motivaci a proto poté dochází ke snižování kvality jejich odvedeného výkonu, což bylo možné pozorovat i během rozklíčování kamerových záznamů této práce. Z toho vyplývá, že ačkoliv byla v této práci zaznamenána jistá závislost věku trénovaného na velikosti produkce, není možné tuto závislost uznat jako statisticky významnou veličinu. Aby to bylo možné, bylo by potřeba provést psychologické rozbory trénovaných, které by nám poskytly jistý obrázek o jejich povaze a rozhodně by bylo nutné provést tyto rozbory a měření na větším počtu trénovaných, než byl použit v této práci.

Z výše uvedených bodů vyplývá, že použití moderních metod sledování křivky učení se v této práci jeví jako neopodstatněné. Na druhou stranu biofeedback v tomto případě sloužil autorovi práce jako zpětná informace o stavu trénovaného během jednotlivých tréninků. Byl tak využit pouze jako přístroj pro měření hodnoty stresu, nikoliv jako přístroj, jehož hlavním účelem je podávat v reálném čase trénovanému informace o jeho stavu. A ačkoliv byla touto prací zjištěna jistá nevýznamnost měření stresu školících se operátorů, není vyloučené jiné využití biofeedbacku v této oblasti, které by mohlo doplňovat tradiční metody sledování křivky učení, které jsou touto prací shledány jako fungujícími i když ne dokonale přesnými.



## 6. Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumání moderních metod sledování křivky učení, které byly založené na hypotéze, zda by se stres neměl považovat za faktory ovlivňující velikost produkce a tím pádem i tvar křivky učení u školících se operátorů. Pomocí statistického vyhodnocování bylo zjištěno, že moderní metoda založená na sledování pulzu a teploty se jeví jako statisticky bezvýznamovou veličinou a tudíž je v této oblasti nepoužitelná.

Pro možnost porovnání moderních a tradičních metod byly v této práci statisticky vyhodnocovány i tradiční metody sledování křivky učení, jejíž výsledky dopadly podle očekávání a tím potvrdily význam použití těchto metod.

Ačkoliv závěry plynoucí z této práce jsou poměrně jasné, není možné vyloučit další potenciální využití moderních metod založených na měření pomocí biofeedbacku. V této práci byl biofeedback totiž využit pouze jako přístroj, který podává autorovi jenom zpětné informace o stavu trénovaných a nesloužil tedy jako přístroj, jehož účelem je primárně podávat zpětnou vazbu v reálném čase. Tento způsob využití by mohl být aplikován jako motivující faktor, u kterého by operátor mohl během tréninků dostávat reálnou zpětnou vazbu o svých prováděných pohybech a tudíž by tak docházelo k jeho vědomému kontrolování a ovlivňování fyzické zátěže. Díky tomuto kontrolování by se operátor mohl rychleji vyznat ve způsobu ovládání harvesterového simulátoru a rychleji tak dosáhnout pokroku ve svých motorických dovednostech. Pokud by se tento způsob využití biofeedbacku ukázal jako opodstatněný, mohlo by to zpřesnit tradiční metody sledování křivky učení, u kterých stále existují jisté faktory, jejichž vliv není možné v rámci průběhu křivky učení číselně vyjádřit.

## 7. Seznam literatury a použitých zdrojů

BÍLEK, K. Učební texty z předmětu Těžba a doprava dříví. *ČLA Trutnov: Učební texty* [online]. Písek: ČLA Trutnov, 2013 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.clatrutnov.cz/index.php/cs/skola/dokumenty/category/22-ucebni-texty>

Biofeedback 2000x-pert. *Assessment Systems: SCHUHFRIED* [online]. Praha, [2005] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://cz.asystems.as/sluzby-produkty/biofeedback-2000x-pert/>

BRYCHTA, Vojtěch. *Lesní těžební stroje*. Brno, 2018 [cit. 2020-06-11]. Bakalářská práce

Česko. Vláda. Nařízení vlády č. 339 ze dne 18. září 2017 o bližších požadavcích na způsob organizace práce a pracovních postupů při práci v lese a na pracovištích obdobného charakteru. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2017, částka 117, s. 3618-3624. Dostupné také z WWW: <http://ftp.aspi.cz/opispdf/2017/117-2017.pdf>. ISSN 1211-1244

Česko. Vláda. Zákon č. 361 ze dne 14. září 2000 o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 98, s. 4570-4615. Dostupné také z WWW: [https://www.epravo.cz/\\_dataPublic/sbirky/archiv/sb098-00.pdf](https://www.epravo.cz/_dataPublic/sbirky/archiv/sb098-00.pdf). ISSN 1211-1244

DVOŘÁK, Jiří; NATOV, Pavel; BYSTRICKÝ, Roman. Plošný a objemový výrobní potenciál pro harvestorovou technologii v ČR. *Lesnická práce* [online]. 2018, 97, 9 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://lmda.silvarium.cz/view/uuid:5d907c44-abc3-45c9-8ca0-6ef566134130?page=uuid:a6526565-1a13-11ea-be52-001b63bd97ba>

DVOŘÁK, Jíří; NATOV, Pavel; JANKOVSKÝ, Martin; et al. Long-term Cost Analysis of Mid-performance Harvesters in Czech Conditions. *ResearchGate* [online]. 2020 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/339274926\\_Long-term\\_Cost\\_Analysis\\_of\\_Mid-performance\\_Harvesters\\_in\\_Czech\\_Conditions](https://www.researchgate.net/publication/339274926_Long-term_Cost_Analysis_of_Mid-performance_Harvesters_in_Czech_Conditions)

DVOŘÁK, J.; NATOV, P.; NATOVOVÁ, L.; KRILEK J.; KOVÁČ, J. Operator's physical workload in simulated logging and timber bucking by harvester. *Journal of Forest Science* [online]. 2016, 62, 5, 236-244 [cit. 2020-06-11]. DOI: 10.17221/21/2016-JFS. ISSN 12124834.

FRANC, Jiří. TEH\_Soustřed'ování\_dříví\_názvosloví. Ing. Jiří Franc [online]. 2013 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://jirifranc.estranky.cz/clanky/download/pripravy-seminarky-word-excel-powerpoint-windows-studium.html>

Informační systém Masarykovy univerzity. *Motorické učení a osvojování sportovních dovedností* [online]. Brno, [2018] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js09/sylabus/web/pdf/3.2.\\_Motoricke\\_uceni\\_a\\_osvojovani\\_sport.\\_dovednosti.pdf](https://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js09/sylabus/web/pdf/3.2._Motoricke_uceni_a_osvojovani_sport._dovednosti.pdf)

JANKOVSKÝ, Martin; ALLMAN, Michal; ALLMANOVÁ, Zuzana. What Are the Occupational Risks in Forestry? Results of a Long-Term Study in Slovakia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2019-12-5 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/337796603\\_What\\_Are\\_the\\_Occupational\\_Risks\\_in\\_Forestry\\_Results\\_of\\_a\\_Long-Term\\_Study\\_in\\_Slovakia](https://www.researchgate.net/publication/337796603_What_Are_the_Occupational_Risks_in_Forestry_Results_of_a_Long-Term_Study_in_Slovakia)

KABEŠ, Antonín. *Metodika pro kalibraci těžebních strojů a analýza výstupů dat dle StanForD*. Praha, 2015 [cit. 2020-06-11]. Disertační práce

KAJZAR, Oldřich. Práce operátora těžebně dopravních strojů. *Lesnická práce* [online]. 2008, 87, 3 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-87-2008/lesnicka-prace-c-3-08/prace-operatora-tezebne-dopravnich-stroju>

KOPŘIVOVÁ, Jana; BRUNOVSKÝ, Martin; PRAŠKO, Ján; HORÁČEK, Jiří. EEG biofeedback a jeho využití v klinické praxi. *Centrum duševního zdraví Jeseník : Biofeedback* [online]. Praha, 2008 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.cdzjesenik.cz/Biofeedback/koprivova.pdf>

LASÁK, Oto. Eurofest 2007 - Prachatice 19.-21. září 2007. *Lesnická práce* [online]. 2007, 86, 10 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-10-07/euroforest-2007-prachatice-19-21-zari-2007>

LASÁK, Oto. Timberjack představil novinky na veletrhu METKO 2000. *Lesnická práce* [online]. 2000, 79, 11 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-79-2000/lesnicka-prace-c-11-00/timberjack-predstavil-novinky-na-veletrhu-metko-2000>

LOPES, Eduardo da Silva; PAGNUSSAT, Millana Bürger; PEPPING Gert-Jan; POTTER, Gert-Jan. Effect of the behavioral profile on operator performance in timber harvesting. *International Journal of Forest Engineering* [online]. 2017, 28, 3, 134-139 [cit. 2020-06-11]. DOI: 10.1080/14942119.2017.1328847. ISSN 1494-2119. Dostupné z WWW: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2017.1328847>

MACKŮ, Jan; GAŠPARÍK, Miroslav. Harvestorová technologie – moderní a k přírodě šetrný těžebně-dopravní systém. *AGROjournal* [online]. 2015-11-6 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.agrojournal.cz/clanky/harvestorova-technologie-moderni-a-k-prirode-setrny-tezebne-dopravni-system-105>

MACKŮ, Jan. *Spotřeba času a produktivita práce víceoperačních technologií v závislosti na lidském faktoru*. Praha, 2014 [cit. 2020-06-11]. Disertační práce

ManagementMania.com. *Technologie (Technology)* [online]. Wilmington (DE), 2020 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://managementmania.com/cs/technologie>

Merimex s.r.o. *Softwarová řešení : Simulátory* [online]. Klášterec nad Ohří, [2005] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.merimex.cz/john-deere/stroje-john-deere/softwareva-reseni/simulatory/>

NATOV, Pavel; DVOŘÁK, Jiří. Psychophysiological Workload During Log Bucking By Timber Harvester. *ResearchGate* [online]. 2016 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/304581120\\_Psychophysiological\\_Workload\\_During\\_Log\\_Bucking\\_By\\_Timber\\_Harvester](https://www.researchgate.net/publication/304581120_Psychophysiological_Workload_During_Log_Bucking_By_Timber_Harvester)

NAVRÁTIL, Vít. *Metodika pro kalibraci těžebních strojů a analýza výstupů dat dle StanForD*. Brno, 2009 [cit. 2020-06-11]. Bakalářská práce

PAGNUSSAT, Millana Burger; LOPES, Eduardo da Silva. The behavioral profile of harvester operators. *Revista Árvore* [online]. 2017, 41, 2 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/317966279\\_The\\_behavioral\\_profile\\_of\\_harvester\\_operators](https://www.researchgate.net/publication/317966279_The_behavioral_profile_of_harvester_operators). DOI: 10.1590/1806-90882017000200010. ISSN 0100-6762.

PURFÜRST, Frank Thomas. Human Influences on Harvest Operations. FORMEC 2007: Meeting the needs of tomorrows' forests / New developments in forest engineering (Vienna, Austria). 9p. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.formec.org/images/proceedings/2007/session\\_2\\_pdf/2\\_2\\_paper\\_purfuerst\\_austro\\_formec\\_2007.pdf](https://www.formec.org/images/proceedings/2007/session_2_pdf/2_2_paper_purfuerst_austro_formec_2007.pdf)

PURFÜRST, Frank Thomas. Learning Curves of Harvester Operators. *ResearchGate* [online]. 2010 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/49611401\\_Learning\\_Curves\\_of\\_Harvester\\_Operators](https://www.researchgate.net/publication/49611401_Learning_Curves_of_Harvester_Operators)

PURFÜRST, Frank Thomas; LINDROOS, Ola. The Correlation between Long-Term Productivity and Short-Term Performance Ratings of Harvester Operators. *ResearchGate* [online]. 2011 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/265525765\\_The\\_Correlation\\_between\\_Long-Term\\_Productivity\\_and\\_Short-Term\\_Performance\\_Ratings\\_of\\_Harvester\\_Operators](https://www.researchgate.net/publication/265525765_The_Correlation_between_Long-Term_Productivity_and_Short-Term_Performance_Ratings_of_Harvester_Operators)

RYCHTECKÝ, A. Proces vzdělávání a výchovy v tělesné výchově. *Fakulta tělesné výchovy a sportu* [online]. Praha, [2018] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [https://ftvs.cuni.cz/FTVS-499-version1-kap5\\_str56\\_87.pdf](https://ftvs.cuni.cz/FTVS-499-version1-kap5_str56_87.pdf)

SCHLAGHAMERSKÝ, Adolf . Harvesterové technologie v lesních porostech. *Lesnická práce* [online]. 2001, 80, 4 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-80-2001/lesnicka-prace-c-4-01/harvestorove-technologie-v-lesnich-porostech>

Skogforsk. *Projects : StanForD* [online]. Upsalla : Skogforsk, [2010] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>

Služby v lesnictví. *Těžba dřeva* [online]. Police na Metují, 2013 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.les-sluzby.cz/les-terminologie.html>

STANĚK, Jiří. Výklad pojmu "těžba." *Lesnická práce* [online]. 2002, 81, 1 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-81-2002/lesnicka-prace-c-1-02/vyklad-pojmu-tezba>

ŠTÍCHA, Václav. *Lesní hospodářství*. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. 266 s. ISBN 978-80-213-2613-2.

Těžebně dopravní stroje. [online]. [S. l.]: eStránky, 2019 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://tds.estranky.cz/>

TMForest s.r.o. *Harvestor Vimek 404 T představen v České republice* [online]. Čichalov, 2007 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.tmforest.cz/clanky-a- videa>

TMForest s.r.o. *Úspěšných 10 le na Českém trhu* [online]. Čichalov, 2012 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.tmforest.cz/clanky-a- videa>

ULRICH, Radomír; NERUDA, Jindřich; ZEMÁNEK, Tomáš. Harvestory pohledem vědy a výzkumu. *Silvarium: Lesnictví* [online]. Kostelec nad Černými lesy: Silvarium, 2013-12-9 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.silvarium.cz/lesnictvi/harvestory-pohledem-vedy-a-vyzkumu>

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem. *Zelené zprávy MZE* [online]. Brandýs nad Labem : Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, [2005] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <http://www.uhul.cz/ke-stazeni/informace-o-lese/zelene-zpravy-mze>

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem. *ZZ\_2018* [online]. Brandýs nad Labem : Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, [2018] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: [http://www.uhul.cz/images/ke\\_stazeni/zelenazprava/ZZ\\_2018.pdf](http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/zelenazprava/ZZ_2018.pdf)

Wikipedie. *Biofeedback* [online]. [2019] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Biofeedback>

ZSBOZP. *Kontroly SÚIP v lesním průmyslu* [online]. Praha: ZSBOZP, [2013] [cit. 2020-06-11]. Dostupné z WWW: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/odvetvi/lesni-prumysl/128-lesni-prumysl>