



Optimalizace práce středně výkonového harvestoru Logset 5H v těžbě dříví Optimisation of timber harvesting work of Logset 5H medium power harvester

Vladislav Nový

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 1176, CZ – 165 21 Praha 6 - Suchbát, Česká republika

Abstract

This article analyses field measurements of harvester operation activities with the aim to search for optimum production conditions of the machine from the point of fuel consumption and operation efficiency. All applied measurement and calculation approaches are based on the methodology for the evaluation of the natural principle of minimax. This principle is one of the most complex decision-making principles in deploying technologies in these activities with minimum energy costs for machine operation, and with regard to the economy of operating these techniques. The measured and calculated values revealed that considering the stated criteria the optimum conditions of the tested machine occurred when a harvested stem had a volume between 0.2 and 0.4 m³.

Key word: harvesting; minimax principle; wood; energy; harvester

Abstrakt

V tomto článku jsou analyzovány výsledky z terénního měření provozní činnosti harvestoru a jsou zde hledány optimální výrobní podmínky daného stroje z hlediska spotřeby pohonných hmot a provozní výkonnosti. Veškeré postupy měření a výpočtů vychází z metodik pro hodnocení přírodního principu minimaxu, což je jeden z nekomplexnějších rozhodovacích principů v nasazování techniky na dané činnosti s vynaložením co možná nejmenších nákladů na energetiku provozu stroje se současným důrazem na ekonomiku provozu této techniky. Z naměřených a vypočítaných hodnot vyplynulo, že optimální podmínky pro zmíněná kritéria u daného stroje nastávají při rozmezí hodnot u hmotnosti těžebního kmene 0,2–0,4 m³.

Klíčová slova: těžba; princip minimaxu; dřevo; energetika; harvester

1. Úvod

Pro potřeby lesnictví je optimalizace nepostradatelným nástrojem, který nám umožňuje určovat optimální efektivnost daných strojů i ve složitých přírodních podmínkách. Optimalizace harvestorových technologií v lesním hospodářství byla však v minulosti opomíjena. Veškerá pozornost byla věnována převážně zemědělské technologii a až s větším rozšířením těžebně dopravních technologií v 70. letech se začaly i v lesnictví tyto technologie studovat. Ze začátku se však nejednalo o přímé určování optimalizace, ale o snahu dosažení zvýšení technické úrovně (Dressler & Popelka 1974; Dressler 1982). Dalším, kdo se zabýval studiem dopravních strojů byl Douda (1977, 1986), který se zaměřil na výkonnost těchto strojů a jejich vliv na lesy. Samotnou optimalizaci se však začal zabývat až Janeček (1989), který již zkoumal optimalizaci a operativní řízení nasazení strojů v LH. V průběhu 80. a 90. let docházelo také ke stanovování terénní klasifikace Macků et al. (1992), která byla stanovena pomocí edafické kategorie a sklonu terénu. Velmi obdobně začali klasifikovat terén také v Kanadě (Mellgren 1980) nebo ve Švédsku (Berg 1992). První práce, která byla napsána na dané téma, byla zaměřena na optimalizaci štěpkovačů z hlediska energetiky, ekonomiky a těžebně dopravní eroze (Janeček 2003). Jednalo se však jen o určení deterministických modelů. Ve světě se základními principy pro hodnocení technologií a jejich optimalizací podrobně zabývali také Dykstra & Heinrich (1997), Hasenauer (1994) a Rebin (1988). Od počátku

nového tisíciletí lze sledovat zvýšení počtů pokusů o studie komplexní optimalizace i ve světě, i když u většiny autorů jsou práce výhradně soustředěny na ekonomické hodnocení. Yoshioka (2002), jenž se zabýval ekonomikou a energetikou při vyklízení potěžebních zbytků, dále Alvarez (2000), který na základě matematických modelů plánuje optimalizaci těžeb tak, aby dosáhl co největšího zisku. Ve Finsku se touto problematikou zabývali Ryyänen & Rönkkö (2001), kteří neřešili jenom samotné náklady na tyto technologie, ale spojovali je i s jejich produktivitou. U nás se optimalizací zabýval v daném období Dvořák (2002, 2004), který se však zaměřoval převážně na problematiku ekologické čistoty. Posléze se však začal provádět výzkum i na energetickou stránku, kdy se začalo provádět určování energetických standardů (Dvořák 2008). Nadále se danou tematikou zabýval též Janeček. Ten v průběhu let spolupracoval na několika projektech i s jinými autory. Hlavně se však jednalo o výzkum využití principu minimaxu a to v těžebně dopravní činnosti (Janeček & Suchomel 2009).

Cílem této práce bylo potvrdit základní předpoklady přírodního principu minimaxu, což je jeden z nekomplexnějších rozhodovacích principů v nasazování techniky s vynaložením co možná nejmenších nákladů na energetiku provozu stroje se současným důrazem na ekonomiku provozu této techniky a posouzením dopadů provozu stroje na daném stanovišti na životní prostředí, a za jeho pomoci stanovit optimální výrobní podmínky středně výkonového harvestoru a z nich následně určit produktivitu práce.

2. Materiál a metodika

Veškerá terénní měření pro potřeby této práce byla prováděna v lesích v okolí vesnice Čeminy, jednalo se o lesní majetek společnosti Macht, s. r. o. Tato lokalita se nachází 10 km západně od Plzně. Veškeré porosty jsou součástí 6. přírodní lesní oblasti Plzeňská pahorkatina a nacházejí se v nadmořské výšce přibližně 400 m. Měření zde prováděných prací bylo monitorováno po dobu 9 dní z celkových 20, po které stroj pracoval na daném stanovišti, což bylo celkem 95,58 hodin měření. Celkem se jednalo o dvanáct lesních porostů, ve kterých se prováděl výchovný zásah s intenzitou kolem 30 %. Celková plocha všech sledovaných porostů byla 23,84 hektaru. Hlavní dřevinu ve všech porostech tvořila borovice, jejíž zastoupení se pohybovalo kolem 95 %, a příměs zde tvořil hlavně modřín. Ve všech vychovávaných porostech bylo celkem změřeno 1 083 vytěžených stromů. Terén se zde nacházel dost variabilní, od rovin až po svahy se sklonitostí kolem 25 %, od rovného povrchu po různé erozní rýhy. Taký věk porostu byl v daných porostech různorodý a pohyboval se od 21 do 45 let.

Strojem, který prováděl veškeré těžební činnosti sledované za účelem měření této práce, byl harvester Logset 5H Titan, což je kompaktní harvester, pro probírkovou těžbu a také pro slabší holosečnou těžbu, s výkonem motoru 125 kW. V přední části tohoto stroje se nachází boggie náprava, která společně se zadními velkými koly umožňuje dobrou únosnost stroje na půdě. Díky hydraulickému jeřábu, který má dosah až jedenáct metrů, nemá problém se zpracováním stromů, aniž by opustil pracovní linku. Pro potřeby optimalizace byla měřena řada faktorů, které ovlivňovaly výkonnost a provoz sledovaného harvestoru. Jednalo se o hodnoty jako je čas na těžbu jednoho m³, spotřeba pohonných hmot a specifikace výrobních podmínek na pracovišti.

O určení dané specifikace podmínek se rozhodovalo na základě metodiky stanovené Janečkem et al. (2011) podle aktuálních charakteristik obtížnosti (expozice, sklon terénu, členitost terénu, stav půdy v době pracovního procesu, náchylnost k erozi, únosnost půdy, průjezdnost terénu, stav povrchu půdy, typ půdy a půdního povrchu, druh zeminy). Veškerá tato data se archivovala ve formuláři specifikace obtížnosti přírodních podmínek, na základě kterých se stanovovaly výpočtem stupně obtížnosti pomocí vzorce:

$$SO = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n} \quad [1]$$

SO – stupeň obtížnosti prováděných prací [–]; N_i – charakteristika obtížnosti, $N_i \in <1 - 6>$ [–]; n – počet charakteristik obtížnosti [–].

Po výpočtu byly následně porosty zařazeny do následujících kategorií podmínek operace podle stupňů obtížnosti prováděných prací, což jsou koeficienty získané výpočtem na základě naměřených charakteristik obtížnosti N_i . Jak je vidět v tabulce 1.

Tabulka 1. Kategorie podmínek operace
Table 1. Categories of operations conditions.

Podmínky operace ¹⁾	Stupeň obtížnosti prováděných prací ²⁾
Podmínky lehké ³⁾	1 – 2,49
Podmínky středně těžké ⁴⁾	2,5 – 3,99
Podmínky těžké ⁵⁾	4 –

¹⁾ Operation conditions, ²⁾ Difficulty level of performed operations, ³⁾ Easy conditions, ⁴⁾ Moderate conditions, ⁵⁾ Difficult conditions

Souběžně byla vytvářena databáze časů na jednotlivé operace, jako je čas na pojezd stroje do pracovního postavení, přisunutí těžební hlavičky ke stromu, pokácení stromu a čas na zpracování stromu, tyto časy byly následně využity na výpočet výkonnosti práce pomocí vzorců 2 – 8.

$$W_k = \frac{V}{t_p + t_u + t_k + t_z} \quad [2]$$

- t_p – čas na pojezd do pracovního postavení [h],
- t_u – čas na přisunutí těžební hlavičky ke stromu [h],
- t_k – čas na pokácení stromu [h],
- t_z – čas na zpracování pokáceného stromu [h],
- W_k – konstrukční výkonnost harvestoru [m³.h⁻¹],
- V – objem vytěženého dříví [m³].

Dále byla vypočítána výkonnost provozní a směnová. Provozní výkonnost je určena výkonností konstrukční W_k a technicko-organizačními podmínkami práce systémů těžby, které jsou vyjádřeny koeficientem využití práce na porostu.

$$W_p = W_k \cdot \tau_p \quad [3]$$

W_p – výkonnost provozní [m³.h⁻¹],

τ_p – koeficient využití práce na porostu či plantáži [–].

$$\tau_p = \frac{T_p - \sum_{i=1}^n t_{ip}}{T_i} \quad [4]$$

- T_i – čas provádění těžby, nakládání, vykládání, jízdy a prostojů během práce směny [h],
- $\sum_{i=1}^n t_{ip}$ – čas technicko-organizačních prostojů při práci na porostu [h],
- T_p – čistý čas práce těžebně dopravního systému [h],
- t_{ip} – dílčí prostoj na porostu [h],
- n – počet dílčích prostojů [–].

Výkonnost směnová je dána skutečnou fyzicky vykonanou prací za dobu jedné směny. Směnová výkonnost je závislá na výkonnosti provozní W_p a na technicko-organizačních podmínkách, které nastávají během práce po dobu směny a jsou vyjádřeny koeficientem využití směny.

Pro směnovou výkonnost platí následující vztah:

$$W_{sm} = W_p \cdot K_s \quad [5]$$

W_{sm} – směnová výkonnost těžebně dopravních systémů [m³.h⁻¹]

K_s – koeficient využití směny [–],

$$K_s = \frac{T_i}{T_{sm}} \quad [6]$$

$$T_i = T_{sm} - \sum_{i=1}^n t_{is} \quad [7]$$

- t_{is} – čas dílčích prostojů vzniklých v čase směny T_{sm} ,
- při práci těžebně-dopravních systémů [h],
- i – počet dílčích prostojů vzniklých v čase směny T_{sm} [–].

Posledním hledaným koeficientem byl koeficient využití pracovních dní v sezóně K_p , který byl stanoven podle vztahu 8.

$$K_p = \frac{n_i}{1\,800} \quad [8]$$

- K_p – koeficient využití pracovních dní v sezóně [–],
- n_i – počet dní využitelných pro práci v porostu [–],
- 1 800 – plánovaná hodnota počtu hodin práce [–].

Pro potřeby výpočtu energetické náročnosti byla zaznamenávána spotřeba pohonných hmot během pracovní směny pomocí softwaru, který je součástí harvestoru a pomocí průtokoměru, který měla obsluha stroje namontovaný na tankovacím zařízení umístěném v servisním automobilu. Tyto hodnoty se pak následně srovnaly se stupněm obtížnosti a hmotností těžných stromů v porostu.

3. Výsledky

Na základě postupu pro hodnocení výrobních podmínek z hlediska jejich obtížnosti byla pro všechny pracoviště zpracována analýza těchto stanovišť z hlediska provozní konstrukční tak, aby bylo možné je zařadit do jednotlivých tříd obtížnosti.

Tabulka 2. Souhrn charakteristik podmínek obtížnosti u harvestoru

Table 2. A summary of the characteristics of the terms of difficulty for harvester.

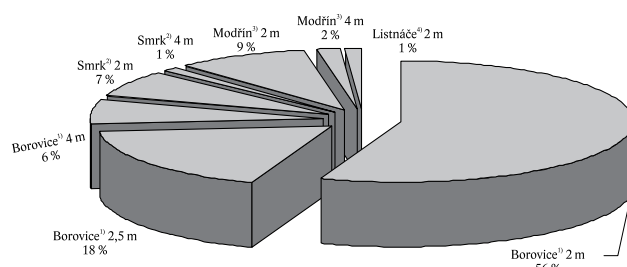
Pořadové číslo pracoviště ¹⁾	Porost ²⁾	Stupeň obtížnosti ³⁾	Podmínky operace ⁴⁾
1	203E7b	2,31	Lehké podmínky ⁵⁾
2	239A5	2,5	Středně těžké ⁶⁾
3	239A3b	2,38	Lehké podmínky ⁵⁾
4	239A3b	2,44	Lehké podmínky ⁵⁾
5	239A5	2,5	Středně těžké ⁶⁾
6	239A5	2,5	Středně těžké ⁶⁾
7	239A2	2,75	Středně těžké ⁶⁾
8	239A3a	2,56	Středně těžké ⁶⁾
9	239A5	2,31	Lehké podmínky ⁵⁾
10	239E3b	2,38	Lehké podmínky ⁵⁾
11	239E3b	2,44	Lehké podmínky ⁵⁾
12	239E3b	2,44	Lehké podmínky ⁵⁾
13	239E3b	2,19	Lehké podmínky ⁵⁾

¹⁾ Number of working place, ²⁾ Forest stand, ³⁾ Difficulty level, ⁴⁾ Operation conditions, ⁵⁾ Easy, ⁶⁾ Moderate

U tohoto harvestoru bylo experimentální měření prováděno celkem na 13 různých pracovištích a data posbíraná na těchto lokalitách byla zpracována a shrnuta do tabulky 2. Z výsledné tabulky je možné zjistit, že v případě harvestoru došlo k nasazení pouze ve výrobních podmínkách lehkých a středně těžkých, což bylo zjištěno na základě výpočtů stupňů obtížnosti a zařazení do jednotlivých kategorií podmínek operace na základě tabulky 1. Ze zjištěných údajů můžeme říci, že harvestory jsou hlavně nasazovány do výrobních podmínek středně těžkých a lehkých, zatímco v těžkých podmínkách je využíváno motomanuální či jiné těžební technologie.

Veškeré experimentálně naměřené hodnoty byly získány pro harvestor na jedné samostatné lokalitě. Z tohoto důvodu byla i struktura těžných sortimentů poměrně jednodušší, jak je vidět v obrázku 1. Celkově bylo vytěženo z experimentálně měřených porostů 149,48 m³ dříví. Jednalo se o 3 druhy jehličnatých dřevin (smrk, borovice, modřín) 91 % a 4 druhy listnatých dřevin 1 % (buk, dub, habr, bříza).

Jak je vidět v obrázku 1, tak z celkového počtu 1 083 vytěžených stromů při experimentálním měření harvestoru převažovaly sortimenty borové s jmenovitou délkou 2 metry, jichž bylo vyrobeno více jak 56 % z celkového počtu. Při podrobnějším pohledu můžeme vidět, že nejvyšší zastoupení měla borovice se 70 % na úkor ostatních dřevin.



Obr. 1. Struktura sortimentace při experimentálním měření harvestoru

Fig. 1. Structure of assortments produced during the experimental measurement of harvester.

¹⁾ Pine, ²⁾ Spruce, ³⁾ Larch, ⁴⁾ Broadleaved

Z výsledných hodnot tohoto experimentálního měření (Tabulka 3) je možné vidět, jakých průměrných hodnot koeficientů využitelnosti včetně směrodatných odchylek bylo dosaženo a jaké je tedy využití stroje v provozu během směny nebo v průběhu celého roku.

Tabulka 3. Využití času harvestoru ve výchovných těžbách

Koeficient využití času ¹⁾	τ_p	K_s	K_p
Průměr ²⁾	0,63	0,61	0,97
Směrodatná odchylka ³⁾	0,13	0,17	0,01

¹⁾ Time consumption coefficient, ²⁾ Mean, ³⁾ Standard deviation

Výsledné hodnoty koeficientů využití času harvestoru byly následně opět použity za účelem získání přehledu o jednotlivých výkonnostech harvestoru v průběhu dlouhodobějšího horizontu.

Z experimentálních měření, která byla prováděna na jednotlivých stanovištích, byla vytvořena analýza výkonnosti harvestoru v závislosti na jednotlivých parametrech vstupujících do výrobní činnosti. Podle postupu, který je popsán v metodice, byla na základě naměřených časů pro jednotlivé pracovní operace v závislosti na hmotnosti těžného kmene stanovena konstrukční výkonnost pro jednotlivé výrobní podmínky.

Z výsledků měření jednotlivých úseků pracovní operace (Tabulka 4) také vyplývá, že u harvestoru tvoří samotné zpracování pokáceného stromu 51,4 % z celkového času pracovní činnosti v závislosti na výrobních parametrech. Nejdůležitějším parametrem při výkonnosti v těžební činnosti je hmotnost sortimentů, popřípadě těžného kmene. Tato práce se v kapitole o výkonnosti harvestoru soustředí hlavně na závislost na tomto parametru.

Tabulka 4. Procentuální rozložení spotřeby času na jednotlivé operace harvestoru

Table 4. Proportional harvester time consumption per individual operation.

	Procentuální rozložení spotřeby času na jednu operaci Logset H5 ¹⁾ [%]
Jízda stroje do nové pozice ²⁾	10,2
Prisunutí těžební hlavičky ke stromu ³⁾	20,7
Pokácení stromu ⁴⁾	17,7
Zpracování stromu ⁵⁾	51,4
Celkem ⁶⁾	100

¹⁾ Time consumption coefficient, ²⁾ Travel to a new site, ³⁾ Moving the harvester head to a tree, ⁴⁾ Tree felling, ⁵⁾ Sorting, ⁶⁾ Total

Z experimentálních měření byla vytvořena analýza výkonnosti harvestoru v závislosti na jednotlivých parametrech vstupujících do výrobní činnosti. Podle postupu, který je popsán v metodice, byla na základě naměřených časů pro jednotlivé pracovní operace v závislosti na hmotnosti těžného kmene stanovena konstrukční výkonnost pro jednotlivé výrobní podmínky.

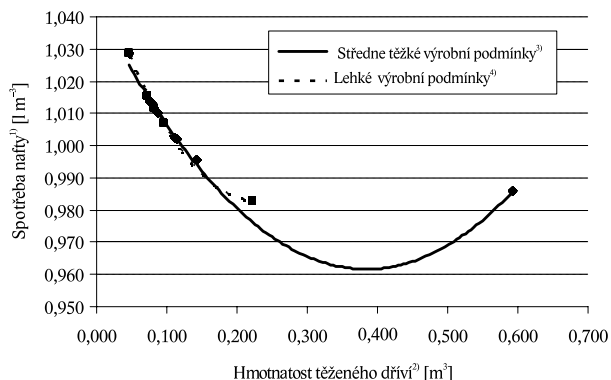
Tabulka 5. Výkonnost harvestoru Logset 5H Titan
Table 5. Performance efficiency of Logset 5H Titan harvester.

Podmínky ¹⁾	W_k [m ³ h ⁻¹]	W_p [m ³ h ⁻¹]	W_{sm} [m ³ h ⁻¹]
Lehké ²⁾	9,95	6,67	3,93
Směrodatná odchylka ³⁾	8,88	5,95	3,51
Střední ⁴⁾	10,38	6,95	4,1
Směrodatná odchylka ³⁾	9,76	6,54	3,86

¹⁾Operation conditions, ²⁾Easy, ³⁾Standard deviation, ⁴⁾Moderate

Ze všech těchto hodnot, které byly získány během terénního měření, byly následně spočítány průměrné hodnoty výkonnosti (W_k , W_p , W_{sm}) v jednotlivých obtížnostech výrobních podmínek, jak je uvedeno v tabulce 5. Z této tabulky je možné vysledovat, že provozní výkonnost sledovaného harvestoru se pohybovala v hodnotách přes 6,5 m³ h⁻¹.

V obrázku 2 je dále také vidět závislost spotřebované nafty na hmotnosti těžného kmene u harvestoru Logset 5H Titan v různých výrobních podmínkách. Po proložení získaných hodnot polynomičnou spojnici trendů, která nám nejlépe vytvoří konvexní tvar křivky, z níž můžeme vyčíst boby optima a sledovat na jejím průběhu, že v tomto vztahu je poměrně výrazný rozdíl v množství spotřebované nafty v závislosti s měnící se hmotností těžného stromu. Celkově můžeme sledovat tento trend v tabulce 6, ve které jsou vypočtené hodnoty získané z tohoto obrázku. Je z nich možné lépe vysledovat trend pohybu měrné spotřeby stroje v daných výrobních podmínkách. Optimální spotřeby bylo na základě měření dosaženo v lehkých výrobních podmínkách při hmotnosti těžného kmene 0,2 m³ a ve středně těžkých podmínkách byla jako neoptimálnější hmotnost těžného kmene v rámci měření stanovena hodnota 0,4 m³.



Obr. 2. Spotřeba nafty u harvestoru Logset 5H Titan v závislosti na hmotnosti těžného kmene

Fig. 2. Fuel consumption by the Logset 5H Titan harvester in relation to the volume of a harvested stem.

¹⁾Fuel consumption, ²⁾Volume harvested timber, ³⁾Moderate operation conditions, ⁴⁾Easy operation conditions

V závislosti na zjištěných údajích byla sestavena tabulka 7 udávající koeficienty hmotnosti těžného kmene (K_h) pro harvestor Logset 5H Titan. Pomocí těchto koeficientů

se upravuje rovnice 9 dávající celkový energetický standard tohoto stroje.

Tabulka 6. Citlivostní analýza závislosti spotřeby pohonných hmot na hmotnosti těžného stromu u harvestoru Logset 5H Titan

Table 6. Sensitivity analysis of Logset 5H Titan harvester fuel consumption in relation to the volume of a harvested tree.

Hmotnost těžného stromu ¹⁾ [m ³]	Lehké výrobní podmínky ²⁾		Středně těžké výrobní podmínky ³⁾	
	Spotřeba nafty ⁴⁾ [l]	% odklonu od optima ⁵⁾	Spotřeba nafty ⁴⁾ [l]	% odklonu od optima ⁵⁾
0	1,0569	6,26	1,0358	6,79
0,01	1,04995	5,56	1,03253	6,45
0,05	1,02619	3,17	1,0203	5,19
0,1	1,00558	1,1	1,00687	3,81
0,15	0,99505	0,04	0,99553	2,64
0,2	0,99462	optimální ⁶⁾	0,98626	1,68
0,25	1,00429	0,97	0,97906	0,94
0,3	1,02404	2,96	0,97395	0,41
0,35	1,05389	5,96	0,97091	0,1
0,4	1,09384	9,97	0,96994	optimální ⁶⁾
0,45	1,14387	15,01	0,97106	0,11
0,5	1,204	21,05	0,97425	0,44
0,55	1,27422	28,11	0,97952	0,99
0,6	1,35454	36,19	0,98686	1,74
0,65	1,44494	45,28	0,99629	2,72
0,7	1,54544	55,38	1,00779	3,9
0,75	1,65604	66,5	1,02136	5,3
0,8	1,77672	78,63	1,03702	6,92
0,85	1,9075	91,78	1,05475	8,74
0,9	2,04838	105,94	1,07455	10,79
0,95	2,19934	121,12	1,09644	13,04
1	2,3604	137,32	1,1204	15,51

¹⁾Volume of a harvested tree, ²⁾Easy operation conditions, ³⁾Moderate operation conditions, ⁴⁾Fuel consumption, ⁵⁾% difference from optimum, ⁶⁾Optimum

Díky těmto výsledkům je již možno spočítat průměrný energetický standard, který se stanovuje pro dané podmínky při využití motoru ze 75 % a specifickém jmenovitém příkonu 120 kW. Množství energie pro jednotlivá stanoviště, s ohledem na jednotlivé faktory, se spočítá na základě standardu a koeficientů pomocí vzorce 9.

$$Q = Q_h + (Q_h \cdot K_H) \quad [\text{l.km}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}] \quad [9]$$

Q – energetický standard [l.km⁻¹ · m⁻³],

Q_h – průměrný energetický standard [l.km⁻¹ · m⁻³],

K_H – koeficient hmotnosti těžného kmene [%].

4. Diskuse

Výsledky analýzy optimalizace práce harvestoru ukázaly, že kritéria jako výkonnost a energetika jsou vzájemně provázány, což odpovídá předpokladům uváděných Janečkem et al. (2013). S rostoucí hmotností těžného kmene klesá až do bodu optima množství spotřebovaného paliva vztazeného na jeden metr krychlový, ale v případě, že se hmotnost těžného kmene u daného stroje nadále zvyšuje, dochází naopak k přetěžování stroje a spotřeba paliva opět stoupá. Na základě toho bylo zjištěno, že když harvestor nepracuje optimálně z hlediska energetiky, nepracuje těž optimálně

Tabulka 7. Koeficienty hmotnatosti těžného kmene (Kh) pro harvester Logset 5H Titan**Table 7.** Coefficients of volume of harvested trees for Logset 5H Titan harvester.

Hmotnatost těžného stromu ¹⁾ [m ³]	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Lehké výrobní podmínky ²⁾	1,10	0,04	0,00	0,97	2,96	5,96	9,97	15,01	21,05	28,11	36,19	45,28	55,38	66,50	78,63	91,78	105,94	121,12
Středně těžké výrobní podmínky ³⁾	3,81	2,64	1,68	0,94	0,41	0,10	0,00	0,11	0,44	0,99	1,74	2,72	3,90	5,30	6,92	8,74	10,79	13,04

¹⁾Volume of a harvested tree, ²⁾Easy operation conditions, ³⁾Moderate operation conditions

i z hlediska ostatních aspektů, což stanovili již Janeček et al. (2011). Stejně tak bylo zjištěno, že i s rostoucí obtížností provozních podmínek dochází ke zvýšení množství spotřebovaného paliva, což se může projevit hlavně u stroje nevhodného pro tato stanoviště. Ke stejnému závěru dospěli též Janeček & Suchomel (2009). Tyto skutečnosti zcela konkrétně vypovídají, jaký vliv má konstrukce, respektive provozní režim harvesteru na spotřebu pohonných hmot. Veškeré tyto výsledky sloužily jako ověření metodiky pro stanovení standardů optimalizace těžebních strojů (Janeček et al. 2011) a potvrdily základní předpoklady stanovené touto metodikou.

5. Závěr

Za účelem výkonnosti harvesteru byly vytvořeny pracovní snímky směny, z nichž byly vypočítány jednotlivé koeficienty využitelnosti stroje. Díky těmto koeficientům bylo již možné určit výkonnost při dané hmotnatosti kmene ve vybraných podmínkách. O určení dané specifikace podmínek se rozhodovalo podle aktuálních zjištěných podmínek, které se archivovaly ve formuláři specifikace přírodních podmínek a stupňů obtížnosti, které se pro ně stanovovaly výpočtem.

Pro získání časových snímků byl použit formulář, ve kterém se zaznamenávaly úseky pracovní operace začínající jízdou harvesteru do pracovní pozice, následujícím přísunem těžební hlavy ke kmeni, pokácením stromu a končící zpracováním kmene. Největší část pracovní operace tvořil úsek zpracování stromu s podílem 51 % z celkového času.

Ze všech těchto hodnot, které byly získány během terénního měření, byly následně spočítány průměrné hodnoty výkonnosti v jednotlivých obtížnostech výrobních podmínek. Takto bylo zjištěno, že tento harvester má provozní výkonnost v lehkých podmínkách $6,67 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a ve středně těžkých podmínkách $6,95 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Pro potřeby výpočtu energetické náročnosti byla zaznamenávána spotřeba pohonných hmot během pracovní směny pomocí softwaru, který je součástí vyvážecího traktoru a pomocí průtokoměru, který měla obsluha stroje namontovaný na tankovacím zařízení umístěném v servisním automobilu. Tyto hodnoty se pak následně srovnaly se stupněm obtížnosti výrobních podmínek a hmotnatostí těžných stromů v porostu.

Na základě měření bylo zjištěno, že se spotřeba nafty u sledovaného harvesteru pohybuje v rozmezí $0,970 \text{ l m}^{-3}$ až $1,030 \text{ l m}^{-3}$. Na základě tohoto bylo posléze určeno, že z hlediska hmotnatosti těžného kmene dosahuje harvester optimální spotřeby $0,995 \text{ l m}^{-3}$ v lehkých výrobních podmínkách na rovnějších plochách, s větší únosností půdy, menším množstvím terénních překážek a menší členitostí terénu při hmotnatosti těžného kmene $0,2 \text{ m}^3$. Ve středně těžkých výrobních podmínkách na svažitéjších stanovištích, s méně únosnou půdou, větší členitostí terénu a porostu a větším

množstvím terénních překážek, kde byla jako neoptimálnější hmotnatost těžného kmene pro práci stanovena hodnota $0,4 \text{ m}^3$ byla optimální spotřeba $0,970 \text{ l m}^{-3}$.

Na základě výše uvedených zjištěných údajů se dá shrnout u harvesteru Logset H5, který spadá do střední výkonové třídy, že optimální podmínky pro tento stroj se nacházejí v jehličnatých porostech, kde se hmotnatost těžného kmene pohybuje v rozmezí $0,2 \text{ m}^3$ až $0,4 \text{ m}^3$.

Literatura

- Alvarez, L. H. R., 2000: On the option interpretation of rational harvesting planning. *Journal of Mathematical Biology*, 40: 383–405.
- Berg, S., 1992: Terrain classification system for forestry work. Forest operation Institute “Skogsarbeten”, Sweden, p. 1–28.
- Dressler, M., 1982: Význam a uplatnění limitujících faktorů pro těžební technologie. *Lesnický průvodce*, 2/1982, Jíloviště-Strnady, VÚLHM, 52 p.
- Dressler, M., Popelka, J., 1974: Přibližování dříví univerzálními a speciálními lesními traktory. SZN, Praha, Lesnická knihovna, Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství, Sv. 2, Praha, 171 p.
- Douda, V., 1977: Víceoperační těžební dopravní stroje a jejich výkonnost. *Lesnictví*, 23:407–420.
- Douda, V., 1986: Nepříznivý vliv lesní techniky na lesy. Praha, VŠZ, 133 p.
- Dvořák, J. et al., 2011: The use of harvester technology in production forest. *Lesnická práce*, 156 p.
- Dykstra, D. P., Heinrich, R., 1997: Forest harvesting and transport: Old problems, new solutions. In: *Proceedings of the XI. World Forestry Congress*, Antalya, 3:171–186.
- Hasenauer, H., 1994: Ein Eizelnbaumsimulator für Uneichaltrige Fichten – Kiefern – und Buchen – Fichtenmischbestände. *Forstl. Schrift. Univer. für Bodekultur.*, Wien, Band 152 p.
- Chament, W. C. T., Vermeulen, G. D., Campbel, D. J., 1997: Reduktion of Traffic-Induced Soil Compaction. In: *Proceedings of the XI. World Forestry Congress*, Antalya, 3:171–186.
- Janeček, A., 1989: Teorie optimalizace operativního řízení nasazení strojů v LH. Praha – DDP, 554 p.
- Janeček, A., Suchomel, J., 2009: Využití principu minimaxu při minimalizaci tažbovodopravní erózie lesního kolesového řahača, *Acta Facultatis Technicae*, Zvolen, 13:87–96.
- Janeček, A., Ulrich, R., Neruda, J., 2013: Metodika stanovení výkonnosti, energetiky ekonomiky, poškození půdy, stojících stromů a emisí cizorodých látek výrobních systémů těžebních strojů, certifikovaná metodika, *Brno Tribun EU*, s. r. o., 108 p.
- Janeček, A., Ulrich, R., Stránský, V., Nový, V., 2011: Standardy optimalizace výrobních systémů těžebních strojů, *Odborná monografie*, Brno Tribun EU, s. r. o., 2011, 130 p.
- Macků, J., Popelka, J., Simanov, V., 1992: Terénní klasifikace z pohledu ekologizace výrobních procesů v lesním hospodářství. *Sborník TU Zvolen*, p. 156–161.
- Malík, V., Dvořák, J., 2007: Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty. *Lesnická práce*, 84 p.
- Mc Mahon, S., 1995: A survey Method for assessing site disturbance. *New Zealand Logging Industry Research Organisation. Project Report 54*, 16 p.

- Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association. Montreal, Quebec, Canada, 15 p.
- Ryyänänen, S., Rönkkö, E., 2001: Productivity and expenses associated with thinning harvesters. *Työtehoseuran julkaisu*, 381, Helsinki, 68 p.
- Wästerlund, I., 1989: Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. *Journal of Teramechanics*, 26:177–182.
- Yoshioka, T. et al., 2002: Cost, energy and carbon dioxide (CO₂) effectiveness of a harvesting and transporting system for residual forest biomass. *Journal of Forest Research*, 7:157–163.

Summary

The main aim of this research was to find optimum operation conditions for a moderately efficient harvester and consequently to determine its work productivity. All field measurements were performed in thirteen separate coniferous stands close to Čemín, Plzeň district, in which tending was executed by Logset 5H Titan harvester. To determine the harvester work efficiency, the harvesting cycle was divided into four operations, which were documented separately. Every harvested stem was linked to specific operation conditions.

The harvester work efficiency was analysed on the base of the time studies of the working shift, from which we calculated particular coefficients of usability. On the base of these coefficients it

was possible to determine the harvester efficiency for different tree volumes under specific operation conditions. The conditions were specified on the base of the actual difficulty of the conditions and their calculated levels of difficulty.

Time study forms were used to record the working operations starting with the travel of the harvester to the new working site, followed by moving the harvester head to a tree, tree felling, and sorting. Sorting was the most time consuming operation taking 51% of total time.

The average values of harvester work efficiency in individual levels of difficulties of operation conditions were calculated from all the data obtained during the field measurements. We found that the analysed harvester had a production efficiency of 6.67 m³ h⁻¹ and 6.95 m³ h⁻¹ in easy and moderate conditions, respectively.

To calculate the energetic demand of the harvester we recorded fuel consumption during working shifts by the software installed in the forwarder and with help of a flow meter which was installed on a refueling device in a service car.

These values were then linked to the respective level of difficulty of conditions and the volumes of harvested trees and with the difficulty level of operation conditions. On the base of the measurement we found that the fuel consumption of the harvester was between 0.970 l m⁻³ – 1.030 l m⁻³.

Based on these findings we determined that optimum working conditions of the harvester in easy operation conditions were if the volume of a harvested tree was 0.2 m³, and in moderate conditions if the tree volume was 0.4 m³.