

# ENERGETICKÝ AUDIT TECHNOLOGIE VÝROBY LESNÍ ŠTĚPKY

## ENERGY AUDIT OF THE FOREST CHIPS PRODUCTION TECHNOLOGY

MILOSLAV KOTAS

*Česká lesnická akademie Trutnov*

### ABSTRACT

The work is focused on the assessment of the fuel chips production technology from the locality "stump" up to delivery to the customer. Energy demand was assessed by using the LCA (Life Cycle Analysis) method with a special focus on the energetically most intensive part – operation. After the deduction of all energy costs, the technology is effective and brings additional energy of 18.39 GJ on the input to the customer for each delivered atoton of green chips with an average calorific value of the supplied chips amounting to 20 GJ.At<sup>-1</sup> (SIMANOV 1993). In the case of the customer Elektrárna Poříčí (Electric Power Plant), this means 1.8 MWh of energy that is supplied additionally with each ton of dendromass into the energy supply network. The highest energy demand is shown in the operational part (1.37 GJ.At<sup>-1</sup>) where the most energetically intensive operation is removal of slash (0.64 GJ.At<sup>-1</sup>). The second most demanding operation is haulage with a share of 0.43 GJ.At<sup>-1</sup> in total energy costs. Haulage effectiveness depends on the hauling distance and on the amount of dendromass transported per haul. The share of the technology manufacture in the total energy balance amounts only to 10% of energy costs. Results of this work facilitate a comparison with other technologies and establishment of procedures with the lowest demand of energy.

**Klíčová slova:** energetický audit, LCA, biomasa, potěžeční zbytky

**Key words:** energy audit, LCA, biomass, harvesting residua

### ÚVOD

Nárůst spotřeby energie a snižující se zásoby neobnovitelných zdrojů energie jsou průvodním jevem současné společnosti. Spalováním fosilních paliv se uvolňuje do ovzduší množství emisí skleníkových plynů poškozujících životní prostředí. Proto je základním úkolem naší společnosti omezit negativa na dlouhodobě udržitelnou míru snižováním energetické náročnosti výrob a orientovat se na možnost využívání obnovitelných zdrojů. Vstupem České republiky do Evropské unie (EU) byl do naší legislativy zapracován i zásadní dokument pro podporu elektřiny z obnovitelných zdrojů – Směrnice 77/2001 ES. V roce 2005 byl v poslanecké sněmovně schválen a ještě tentýž rok vstoupil v platnost zákon č. 180/2005 Sb. (Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie). Tento zákon doplňuje několik vyhlášek. Jedná se o vyhlášku ERÚ č. 475/2005 Sb., vyhlášku MŽP č. 482/2005 Sb. a vyhlášku ERÚ č. 502/2005 Sb. V průběhu následujících let dochází k průběžným aktualizacím vyhláškou č. 364/2007 Sb. a vyhláškou č. 409/2009 Sb. I přes tato opatření je pro nás plnění indikativního cíle EU, dosáhnout podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě ve výši 8 % v roce 2010, problém. V roce 2009 byl vládou schválen Akční plán pro biomasu pro ČR. Vzhledem k tomu, že biomasa tvoří v současné době přibližně polovinu obnovitelné energie využívané v EU, představuje akční plán významnou složku z pohledu naplňování cílů využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) a stanoví opatření ke zvýšení rozvoje energie získané z biomasy ze dřeva, odpadů a zemědělských plodin vytvořením tržně orien-

tovaných pobídek zaměřených na její využití a odstranění překážek rozvoje trhu. Vláda následně schválila cíl 13 % podílu energie získané z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě pro rok 2020 (Akční plán pro biomasu 2009).

Otázka využívání obnovitelných zdrojů energie je stále častěji diskutovaná především vzhledem k energetické, zemědělské a environmentální koncepci EU. Často je podpora využívání některých OZE zpochybňována, především v souvislosti se závazky České republiky k Evropské unii. Přípomínky se většinou týkají výkupních cen elektřiny z těchto zdrojů a často je napadána i vlastní podstata obnovitelných zdrojů energie. Proto by měla být veškerá výroba energie z obnovitelných zdrojů podpořena energetickým auditem, stanovením koeficientu čisté energie (Pure energy ratio - PER) ještě před určováním výše dotací. Veškeré výroby by měly být hodnoceny z hlediska jejich vlivu na životní prostředí. Neustálým růstem spotřeby energií roste zátěž na životní prostředí. Volba vhodné technologie v jakékoli oblasti lidské činnosti na základě energetické bilance je racionální způsob hospodaření se zdroji snižujícími environmentální zátěž. Energetický audit dává ucelenou informaci o spotřebované energii. Existuje-li více možných technologií, mohl by být energetický audit klíčovým ukazatelem pro volbu vhodné technologie (KLVAČ, SKOUPÝ 2006).

Cílem práce je zhodnocení efektivnosti vybrané technologie výroby lesní štěpky pro energetické účely na základě energetických vstupů v jednotlivých fázích životního cyklu a návrh možné strategie redukcující spotřebu energie.

## MATERIÁL A METODIKA

Vlastní měření bylo prováděno na pěti lokalitách v průběhu zimního období v roce 2009. Na všech sledovaných lokalitách se jednalo o likvidaci těžebních zbytků po mýtných těžbách s 50% zastoupením borovice a 50% zastoupením smrku. K vyvážení klestu byl použit vyvážecí traktor JD1110D a vyvážecí souprava K.T.S. Maskiner s traktorem Valtra 6850 Hi. Štěpkování klestu bylo provedeno štěpkovačem Bobr 7 Plus poháněným traktorem Valtra 6850 Hi. Následný odvoz odběrateli zajišťovala nákladní auta Renault Kerax a Scania R 480 CB. Přibližně polovina vyrobené štěpky byla odvážena přímo k odběrateli, druhá část byla dopravována k odběrateli přes mezisklad. Vlastní těžba byla provedena harvesterovou technologií v období od 15. prosince do 20. ledna. Vyvážení probíhalo v návaznosti na těžbu tak, aby nedocházelo ke znehodnocení klestu. Vyvážení oběma prostředky se uskutečnilo v období od 3. ledna do 30. ledna. Po měsíční pauze v termínu 23. února – 7. března následovalo štěpkování. Při štěpkování dřevní masy byl průběžně zajištěn její odvoz.

Energetický audit, který byl proveden, je založený na metodice LCA (Life Cycle Analysis). Využitím této metody se zabývala řada autorů, např. KLVAČ (2003). Pomocí této metody byly definovány všechny energetické vstupy ve fázích výroby prostředků, oblasti provozu, oblasti oprav a údržby a oblasti likvidace stroje. Pro fázi výroby prostředků je třeba stanovit množství primárních energií spotřebovaných na výrobu surových materiálů, stanovit podíl jednotlivých materiálů na výrobu komponentů, množství energie spotřebované na výrobu komponentů a kompletaci stroje a samozřejmě i energii na přepravu materiálů, komponentů a stroje. Vzhledem k tomu, že lesní stroje jsou sestavovány z komponentů vyráběných v různých zemích různými dodavateli s vytvořenou komplikovanou sítí vzájemných vztahů, je těžké určit energetickou náročnost výroby daného prostředku.

U některých studií zaměřených na výpočet energie potřebné k výrobě zemědělských strojů je udávána pouze ocel, litina a guma (BÖRJESSON 1994; DOERING 1980). Například ATHANASSIADIS et al. (2002) sledoval demontáž vyvážecího traktoru profesionální firmou a určil podíly jednotlivých materiálů, z nichž byl forwarder zkonstruován. Z těchto údajů následně vycházel při výpočtu potřebné energie na výrobu stroje. Jednotliví autoři uvádějí spotřebu energie na funkční jednotku nebo na jeden kilogram hmotnosti stroje. V této studii byla použita hodnota 66,42 MJ.kg<sup>-1</sup>. Tato hodnota byla přepočtena na základě hmotnosti daného prostředku a odhadu vyrobených (přepravených) jednotek za dobu jeho životnosti na množství energie zatěžující každou jednotku výroby - funkční jednotku. Za funkční jednotku byla zvolena atrotuna (At) dodané štěpky. Odhadované množství přepravené dendromasy vztahen k životnosti prostředku bylo stanoveno pro vyvážecí traktor 17 tis. At, pro vyvážecí soupravu 8 tis. At. U štěpkovače bylo odhadované množství vyrobené štěpky 17 tis. At. U nákladního automobilu Scania a Renault byl proveden odhad životnosti stroje podle ujetých kilometrů. U odvozu bylo vypočteno celkové množství energie nutné pro dopravu na sklad, ze skladu a přímo odběrateli podle ujetých km a následně přepočítáno na 1 At dodané štěpky odběrateli.

Pro fázi provozu byla na základě měření určena spotřeba pohonných hmot a podle údajů o údržbě stroje vypočtena spotřeba olejů ve vztahu k funkční jednotce. Na základě množství energií spotřebovaných na výrobu provozních kapalin a energií obsažených v provozních kapalinách bylo vypočteno celkové množství spotřebované energie na funkční jednotku při provozu stroje. Hodnoty energií spotřebovaných na výrobu paliv a energie obsažených v palivech jsou uvedeny v tab. 1. Hodnoty energií spotřebovaných na výrobu olejů a energie obsažených v olejích jsou uvedeny v tab. 2.

Pro fázi údržby a oprav platí, že jednotlivé komponenty stroje mají svoji životnost.

**Tab. 1.**

Hodnoty energií spotřebovaných na výrobu paliv a energie obsažená v palivech

Energy consumed to produce fuels and energy contained in the fuels (GRÄGG 1994; ALTIN et al. 2001; McDONNELL 1996)

<sup>1</sup> Druh paliva	<sup>2</sup> Energetický obsah (MJ.l <sup>-1</sup> )	<sup>3</sup> Spotřeba energie na výrobu (MJ.l <sup>-1</sup> )	<sup>4</sup> Celkem (MJ.l <sup>-1</sup> )
Minerální nafta <sup>1a</sup>	36.14	4.5	40.64
RME (bionafta) <sup>1b</sup>	33.1	15.6	48.7
Směs 25% RME a 75% motorová nafta <sup>1c</sup>	35.64	7.07	42.74

Captions: <sup>1</sup>Type of fuel; <sup>1a</sup>Diesel oil; <sup>1b</sup>Rapeseed methyl ester (RME); <sup>1c</sup>Mixed RME (25%) and diesel oil (75%); <sup>2</sup>Energy value; <sup>3</sup>Energy consumed to produce fuel; <sup>4</sup>Total

**Tab. 2.**

Hodnoty energií spotřebovaných na výrobu olejů a energetický obsah olejů

Energy consumed to produce oils and energy contained in the oils (VÄG et al. 2000)

<sup>1</sup> Druh oleje	<sup>2</sup> Energetický obsah (MJ.l <sup>-1</sup> )	<sup>3</sup> Spotřeba energie na výrobu oleje (MJ.l <sup>-1</sup> )	<sup>4</sup> Energie celkem (MJ.l <sup>-1</sup> )
Minerální <sup>1a</sup>	38.5	45	83.5
Polosyntetický <sup>1b</sup>	38.2	40.4	78.42
Rostlinný <sup>1c</sup>	36.1	12	48.1
Syntetický <sup>1d</sup>	36.1	22	58.1

Captions: <sup>1</sup>Type of fuel; <sup>1a</sup>Mineral oil; <sup>1b</sup>Semi-synthetic oil; <sup>1c</sup>Vegetable oil; <sup>1d</sup>Synthetic oil; <sup>2</sup>Energy value; <sup>3</sup>Energy consumed to produce oil; <sup>4</sup>Total

U některých komponentů je stanoven termín výměny (výměna nožů štěpkovače), u některých je pouze uváděna předpokládaná životnost (ložiska, čepy) a u některých může dojít k poškození způsobeným lidským faktorem. Nejčastěji se množství potřebné energie počítá z hmotnosti stroje. Dané množství se podle různých autorů pohybuje v rozmezí 30 % (KNECHTLE 1997) až 50 % (ATHANASSIADIS et al. 2002). Pro určení množství energie ve fázi údržby byla použita hodnota 50 % hmotnosti stroje na základě studie ATHANASSIADISE et al. (2002).

V oblasti likvidace a recyklace lze vycházet ze skutečnosti, že převážná část strojů je složena z recyklovatelných materiálů, především z oceli a litiny. Například harvester Timberjack 770 je recyklovatelný z 92,4 % (John Deere Company). Z toho důvodu nejsou uváděny energetické náklady na likvidaci.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### Výroba

Každá dodaná atrotuna lesní štěpky vyrobená shora uvedenou technologií je zatížena v oblasti výroby stroje 60,05 MJ.At<sup>-1</sup> u vyvážecího traktoru, 60,57 MJ.At<sup>-1</sup> u vyvážecí soupravy a 45,91 MJ.At<sup>-1</sup> u štěpkovače (tab. 3). U odvozu štěpky je každý kilometr zatížen u Scanie 3,19 MJ a u Renaultu 2,52 MJ (tab. 4).

Vozidla, která dopravovala štěpku přes mezisklad, zatížila každou funkční jednotku energetickými náklady ve výši 58,25 MJ. Vzhledem ke krátké odvozní vzdálenosti a především k náročným manipulacím s přívěsy ve špatných terénech byla Scania (a někdy i Renault) využívány

**Tab. 3.**

Množství energie spotřebované na výrobu strojů k vyvážení a štěpkování (MJ.At<sup>-1</sup>)  
Energy consumed to manufacture hauling and chipping machines (MJ.At<sup>-1</sup>)

	<sup>1</sup> Hmotnost prostředku (kg)	<sup>2</sup> Množství vyrobené (přepravené) dendromasy za dobu životnosti prostředku (At)	<sup>3</sup> Energie spotřebovaná na výrobu 1kg prostředku (MJ)	<sup>4</sup> Energie na 1 At dodané štěpky (MJ)
JD1110D	15,370	17,000	66.42	60.05
Valtra+K.T.S.	7 295	8,000	66.42	60.57
<sup>5</sup> Průměr pro vyvážení klestu				60.22
Bobr 7+Valtra	11,750	17,000	66.42	45.91

Captions: <sup>1</sup>Weight of transport means; <sup>2</sup>Weight of woody biomass made (transported) during service life of the transport means; <sup>3</sup>Energy consumed to produce 1kg of transport means; <sup>4</sup>Energy per unit (1 At) of supplied chips; <sup>5</sup>Slash haulage (mean)

**Tab. 4.**

Množství energie spotřebované na výrobu nákladních automobilů (MJ.km<sup>-1</sup>)  
Energy consumed to manufacture lorries (MJ.km<sup>-1</sup>)

	<sup>1</sup> Hmotnost prostředku (kg)	<sup>2</sup> Odhadovaná produkční životnost vozidla (km)	<sup>3</sup> Energie spotřebovaná na výrobu 1kg prostředku (MJ)	<sup>4</sup> Energie na 1km dopravy (MJ)
Scania	24,000	500,000	66.42	3.19
Renault	19,000	500,000	66.42	2.52

Captions: <sup>1</sup>Weight of transport means; <sup>2</sup>Estimated service life of vehicle; <sup>3</sup>Energy consumed to produce 1kg of transport means; <sup>4</sup>Energy per 1km transport

**Tab. 5.**

Množství energie spotřebované na výrobu nákladních automobilů (MJ.At<sup>-1</sup>)  
Energy consumed to manufacture lorries (MJ.At<sup>-1</sup>)

	MJ.km <sup>-1</sup>	Celkem/Total (km)	<sup>1</sup> Množství štěpky (At)	<sup>2</sup> Energie na 1At štěpky (MJ)
Scania <sup>3</sup> na sklad	3.19	200		
Renault <sup>3</sup> na sklad	2.52	144	63.18	58.25
Scania <sup>4</sup> ze skladu	3.19	840		
Scania <sup>5</sup> přímo odběrateli	3.19	677	45.42	47.55
<sup>6</sup> Průměr na odvoz				53.78

Captions: <sup>1</sup>Amount of chips; <sup>2</sup>Energy per weight unit (1 At) of chips; <sup>3</sup>Transport to storage yard; <sup>4</sup>Transport from storage yard; <sup>5</sup>Transport to consumer; <sup>6</sup>Haulage (mean)

**Tab. 6.**

Vyvážení klestu a výroba štěpky  
Slash removal and production of wood chips

	<sup>1</sup> Spotřeba nafty (l)	<sup>2</sup> Počet mohodin	<sup>3</sup> Množství dendromasy (At)
JD1110D	698.39	77	52.5
Valtra+K.T.S.	950.46	219	56.1
Valtra+Bobr	758.75	62.5	108.6

Captions: <sup>1</sup>Amount of diesel consumed; <sup>2</sup>Operation time (hours);  
<sup>3</sup>Amount of woody biomass

**Tab. 7.**

Odvoz štěpky  
Wood chips transport

	<sup>1</sup> Spotřeba nafty (l)	<sup>2</sup> Celkem km	<sup>3</sup> Množství štěpky (prm)	<sup>4</sup> Množství štěpky (At)
Renault <sup>5</sup> na sklad	86.11	144	139.72	20.94
Scania <sup>5</sup> na sklad	124.4	200	281.88	42.24
Celkem/Total <sup>5</sup> na sklad			421.6	63.18
Scania <sup>6</sup> sklad-odběratel	522.48	840	421.8	63.18
Scania <sup>7</sup> OM-odběratel	421.1	677	343	45.42

Captions: <sup>1</sup>Diesel consumed; <sup>2</sup>Total distance; <sup>3</sup>Amount of chips (bulk volume); <sup>4</sup>Weight of chips;  
<sup>5</sup>Transport to storage yard; <sup>6</sup>Transport from storage yard to consumer; <sup>7</sup>Transport from  
roadside to consumer

**Tab. 8.**

Dodávky štěpky  
Delivery of wood chips

	<sup>1</sup> Objem (prm)	<sup>2</sup> Hmotnost (tun)	<sup>3</sup> Procent sušiny	<sup>4</sup> atrotun
<sup>5</sup> Přímo odběrateli	343	91.86	49.45	45.42
<sup>6</sup> Přes sklad	421.8	128.6	49.13	63.18
Celkem/Total	887.04	220.46		108.6

Captions: <sup>1</sup>Bulk volume; <sup>2</sup>Weight; <sup>3</sup>Percent of dry mass; <sup>4</sup>Atrotuns;  
<sup>5</sup>Direct transport to consumer; <sup>6</sup>Transport through storage  
yard

**Tab. 9.**

Dopravní vzdálenosti  
Hauling distances

<sup>1</sup> OM-sklad	15 km
<sup>2</sup> Sklad-odběratel	70km
<sup>3</sup> OM-odběratel	65km

Captions: <sup>1</sup>Transport from roadside to  
storage yard; <sup>2</sup>Transport from  
storage yard to consumer;  
<sup>3</sup>Transport from roadside to  
consumer

**Tab. 10.**

Množství olejů a termíny výměny u jednotlivých prostředků  
Oil amounts and terms for their change in the individual machines

	<sup>1</sup> Motorový olej		<sup>2</sup> Převodový olej		<sup>3</sup> Hydraulický olej	
	<sup>4</sup> Množství (l)	<sup>5</sup> Termín výměny	<sup>4</sup> Množství (l)	<sup>5</sup> Termín výměny	<sup>4</sup> Množství (l)	<sup>5</sup> Termín výměny
UKT Valtra	13	250 Mth	45	1,000 Mth		
JD1110D	22	500 Mth	200	2,000Mth	100	1,000 Mth
Scania	35	15,000 km	25	100,000km	70	150,000km
Renault	35	15,000 km	25	100,000km	70	150,000km

Captions: <sup>1</sup>Engine oil; <sup>2</sup>Transmission lubricating oil; <sup>3</sup>Hydraulic oil; <sup>4</sup>Amount; <sup>5</sup>Oil change limit; Mth – Operation  
hours

**Tab. 11.**  
Množství spotřebované energie při provozu prostředků  
The amount of energy consumed during the machines operation

	Jednotky/ Units	Nafta/ Diesel	Motorový mineral oil	Motorový polo- syntetický olej/ Engine semi- synthetic oil	Převodový a hydraulický mineralní olej/ Transmission lubricating and hydraulic mineral oil	Převodový mineralní olej/ Transmission lubricating mineral oil	Hydraulický syntetický olej/ Hydraulic synthetic oil	Celkem energie/ Total energy
<sup>1</sup> Energetický obsah	MJ.l <sup>-1</sup>	36.14	38.5	38.02	38.5	38.5	36.1	
<sup>2</sup> Energie na výrobu	MJ.l <sup>-1</sup>	4.5	45	40.4	45	45	22	
Součet energií Sum	MJ.l <sup>-1</sup>	40.64	83.5	78.42	83.5	83.5	58.1	
<sup>3</sup> Spotřeba štěpkovače	l.At <sup>-1</sup>	6.987	0.03		0.026			
<sup>4</sup> Energie štěpkovač	MJ.At <sup>-1</sup>	283.95	2.5		2.16			288.61
<sup>5</sup> Spotřeba JD1110D	l.At <sup>-1</sup>	13.31	0.065			0.147	0.15	
<sup>6</sup> Energie JD1110D	MJ.At <sup>-1</sup>	540.92	5.39			12.27	8.52	567.1
<sup>7</sup> Spotřeba K.T.S.	l.At <sup>-1</sup>	16.94	0.203		0.176			
<sup>8</sup> Energie K.T.S.	MJ.At <sup>-1</sup>	688.4	16.94		14.67			720.01
<sup>9</sup> Energie vyvážení klestu	MJ.At <sup>-1</sup>							646.09
<sup>10</sup> Spotřeba Renault OM-sklad	l.At <sup>-1</sup>	4.113		0.0158		0.0017	0.0032	
<sup>11</sup> Energie Renault OM-sklad	MJ.At <sup>-1</sup>	167.14		1.24		0.14	0.19	168.71
<sup>10</sup> Spotřeba Scania OM-sklad	l.At <sup>-1</sup>	2.945		0.0109		0.0012	0.0022	
<sup>11</sup> Energie Scania OM-sklad	MJ.At <sup>-1</sup>	119.68		0.85		0.1	0.13	120.76
<sup>12</sup> Spotřeba Scania sklad-odběratel	l.At <sup>-1</sup>	8.27		0.0306		0.0033	0.0063	
<sup>13</sup> Energie Scania sklad-odběratel	MJ.At <sup>-1</sup>	336.08		2.4		0.28	0.36	339.12
<sup>14</sup> Spotřeba Scania OM-odběratel	l.At <sup>-1</sup>	9.271		0.0343		0.0034	0.007	
<sup>15</sup> Energie Scania OM-odběratel	MJ.At <sup>-1</sup>	376.78		2.69		0.31	0.41	380.19
<sup>16</sup> Energie odvoz štěrky	MJ.At <sup>-1</sup>							435.79
<sup>17</sup> Celkem energie provoz prostředků	MJ.At <sup>-1</sup>							1370.49

Captions: <sup>1</sup>Energy value; <sup>2</sup>Energy consumed to produce fuel and oil; <sup>3</sup>Consumption of chipper; <sup>4</sup>Energy consumed (chipper); <sup>5</sup>Consumption of JD1110D; <sup>6</sup>Energy consumed (JD1110D); <sup>7</sup>Consumption of K.T.S.; <sup>8</sup>Energy consumed (K.T.S.); <sup>9</sup>Energy of slash hauling; <sup>10</sup>Consumption of vehicle between roadside and storage yard; <sup>11</sup>Energy consumed between roadside and storage yard; <sup>12</sup>Consumption of vehicle between storage yard and consumer; <sup>13</sup>Energy consumed between storage yard and consumer; <sup>14</sup>Consumption of vehicle between roadside and consumer; <sup>15</sup>Energy consumed between roadside and consumer; <sup>16</sup>Energy needed for slash hauling; <sup>17</sup>Total energy needed for operations

při odvozu na mezisklad bez přívěsu. Odvoz štěpky, který byl zajištěn nákladním vozem Scania z odvozního místa přímo odběrateli, zatížil 1 At dodané štěpky 47,55 MJ. Průměrně podíl energie na výrobu odvozních prostředků činil na funkční jednotku 53,78 MJ (tab. 5).

### Provoz

Údaje použité pro kalkulaci energie jednotlivých strojů jsou uvedeny v tab. 6 – 10. Jelikož se jednalo o zimní měsíce a štěpkování následovalo měsíc po těžbě, vlhkost vyrobené štěpky byla poměrně vyšší a pohybovala se okolo 50 %. Vyvezené množství klestu bylo odhadováno v m<sup>3</sup> ložných prostorů prostředků a následně přepočítáno podle dodané štěpky na atrotuny. Množství odvážené štěpky bylo zjišťováno podle rozměrů kontejnerů odvozních prostředků v prm a přepočítáno podle množství dodané štěpky na atrotuny.

Množství vložené energie v provozní části zásadně ovlivňuje spotřeba nafty. Můžeme říci, že spotřeba olejů je v tomto případě téměř zanedbatelná a dosahuje maximálně 5 % hodnoty nafty. Největší spotřeba energie byla při vyvážení klestu, kde je ještě znatelný rozdíl mezi vyvážecím traktorem JD1110D se spotřebou 567,10 MJ.At<sup>-1</sup> a vyvážecí soupravou K.T.S. Maskiner se spotřebou 720,01 MJ.At<sup>-1</sup>. Nejmenší spotřeba energie je u vlastního štěpkování a činí 288,61 MJ.At<sup>-1</sup>. U odvozu dříví vychází výhodněji odvoz přímo odběrateli s energetickou spotřebou 380,19 MJ.At<sup>-1</sup> oproti dopravě přes sklad s 475,77 MJ.At<sup>-1</sup>. Z odvozních prostředků se jeví výhodněji Scania. Vzhledem k vyššímu objemu dopravované dendromasy má i nižší energetickou spotřebu na jednotku výroby. Množství spotřebované energie při provozu prostředků je uvedeno v tab. 11.

### Opravy a údržba

Pro oblast oprav a údržby byla uvažována polovina energetických nákladů na výrobu stroje, tj. 80 MJ.At<sup>-1</sup>.

### Souhrn

Celkové množství spotřebované primární energie při použité technologii představuje za celý životní cyklus 1,61 GJ na jednu atrotunu dodané štěpky. Pokud budeme předpokládat u jedné dodané atrotuny lesní štěpky výhřevnost 20 GJ (SIMANOV 1993), bylo by při této technologii po odečtení všech vstupů primárních energií dodáno 18,39 GJ energie v dřevní hmotě odběrateli. Ve výsledném efektu, například při dodávkách do elektrárny Poříčí u Trutnova, to může představovat asi 1,80 MWh dodané energie zákazníkovi navíc za každou atrotunu dendromasy.

## ZÁVĚR

Těžební zbytky po obnovních těžbách bývaly zlým snem každého hospodáře. Jejich likvidace za účelem přípravy ploch pro zalesňování stála nemalé finanční prostředky a v případě pálení klestu i riziko lesních požárů. Změnu tohoto odpadu v zajímavou surovinu současnosti můžeme chápat jako kladný přínos v naší lesnické praxi - samozřejmě při dodržení zásad výběru vhodných lokalit. Na základě provedeného energetického auditu můžeme tvrdit, že využívání klestu z mýtných těžeb má pozitivní význam v programu OZE. Energetické vstupy zabírají 8 % z dodané energie. Hodnocení vybrané technologie ukázalo slabší články systému, které mohou ovlivnit výsledné hodnocení. Vzhledem k tomu, že se majitelé lesů snaží přenést břímě likvidace klestu na společnosti vyrábějící štěpku, bylo do celé technologie úmyslně zařazeno i vyvážení klestu. Musíme si však uvědomit, že likvidace klestu se musí provádět i v případě, pokud nedojde k dalšímu využívání dendromasy. Odečtením vyvážení klestu by se snížilo energetické zatížení jedné atrotuny vyrobené štěpky o 0,64 GJ. Při vyvážení klestu můžeme snížit energetické vstupy snížením nebo alespoň dodržením přijatelných vyvážecích vzdáleností a využitím vyvážecích traktorů s dostatečně velkým prostorem pro uložení klestu či využít speciálních vyvážecích strojů pro dopravu klestu se zajištěním jeho komprese. Nejvíce energie bylo spotřebováno v oblasti provozu, oblast výroby prostředků zaujímá v energetické bilanci pouze 10 % provozních nákladů. Pro vlastní výrobu to znamená zajistit soustředování pracovišť s omezením zbytečných přejezdů, využít velkovýrobní technologie a vypracovat nevhodnější logistiku s preferencí dopravy přímo odběrateli. Odvozní vzdálenosti by měly být co nejkratší, maximálně do 70 km. Tato metodika se může použít i pro hodnocení jiných, například malovýrobních technologií a získávání dendromasy z výchovných zásahů.

### Poděkování:

Práce byla zpracována s podporou projektů MŠMT ČR MSM6215648902, projektu MZE QH71159, projektu COST OC 10041 a IGA 13/2009 Mendelovy univerzity v Brně.

## LITERATURA

- Akční plán pro biomasu pro ČR pro období 2009 – 2011. Usnesení Vlády ČR č. 47 ze dne 12. 01. 2009. [on-line]. 17 s. [cit. 18. 06. 2011]. Dostupné na World Wide Web: [http://eagri.cz/public/web/file/73553/AP\\_biomasa\\_09\\_01.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/73553/AP_biomasa_09_01.pdf)
- ALTIN R., CETINKAYA S., YÜCESU H. S. 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion and Management*, 42: 529-538.
- ATHANASSIADIS D., LIDESLAV G., NORDFJELL T. 2002. Energy use and emission due to the manufacture of the forwarder. *Resources Conservation and Recycling*, 34: 149-160.
- BÖRJESSON P. 1994. Energy analyse of biomass production in Swedish agriculture and forestry – today and around 2015. Lund (Sweden), Lunds tekniska högskola: 64 s. IMES/EESS Report No. 17.
- DOERING O.C. 1980. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: Pimentel D. (ed.): *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, CRC Press: 475 s.
- GRÄGG K. 1994. Effects of environmentally classified diesel fuels, RME and blends of diesel fuels and RME on the exhaust emission. MTC, Report 9209B: 44 s.
- John Deere Company. Green forest machines for sustainable development. Environmental Declaration. [on-line]. [cit. 13. 11. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.deere.com/en\\_US/compinfo/media/pdf/envtsafety/env/TJ\\_YMPESITE\\_USA\\_2final.pdf](http://www.deere.com/en_US/compinfo/media/pdf/envtsafety/env/TJ_YMPESITE_USA_2final.pdf)>
- KLVAČ R., WARD S., OWENDE P., LYONS J. 2003. Energy audit of wood harvesting systems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18: 176-183.
- KLVAČ R., SKOUPÝ A. 2006. Energy audits of wood processing technologies. In: IUFROLAT 2006, BOSQUES – La creciente importancia de sus funciones ambientales, sociales y económicas. La Serena – Chile, INFOR: 30.
- KNECHTLE N. 1997. Materialprofile von Holzertesystemen – Analyse ausgewählter beispiele als Grundlage für ein forsttechnisches Ökoinventar. Diplomarbeit, WS 1996/97. Departement für Wald- und Holzforschung. ETH Zurich.
- MCDONNELL K.P. 1996. Semi-refined rapeseed oil (SRO) as a diesel fuel extender for agricultural equipment. Doctoral thesis. Dublin. University College Dublin, Agricultural and Food Engineering Department: 288 s.
- SIMANOV V. 1993. Dříví jako energetická surovina. Možné způsoby energetického využívání těžebního odpadu a dalších opomíjených zdrojů dříví. Praha, Ministerstvo zemědělství České republiky: 116 s.
- VÅG, C. et al. 2000. Comparative life cycle assessment (LCA) of the manufacturing of base fluid for lubricants. Statoil Lubricant Research and Development. Nynäshamn, Sweden.

---

## ENERGY AUDIT OF THE FOREST CHIPS PRODUCTION TECHNOLOGY

### SUMMARY

The work is focused on the assessment of the fuel chips production technology from Locality P up to delivery to the customer. The measurement was made in five localities where logging residues were to be eliminated after the main felling. Slash was hauled by using the JD1110D forwarder and the K.T.S. Maskiner tractor (Valtra 6850 Hi) and trailer unit. The dendromass transport to the customer was ensured by Renault and Scania trucks. Approximately 40% of dendromass was transported to the customer directly and the remaining part was forwarded through a store. The energy audit was carried out by using the LCA (Life Cycle Analysis) method by which energy inputs into the system were expressed in numbers for individual stages of its life cycle. The value used for the operational part was  $66.42 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (ATHANASSIADIS et al. 2002). The amount of energy required for the machine manufacture per functional unit was determined on the basis of machine weight and the assumed number of functional units manufactured during the machine life cycle. The functional unit was established to be 1 atoton of the supplied dendromass. The consumption of working fluids was established for the life cycle part of machines operation and the amount of consumed energy was determined from the amount of energy needed for their manufacture and the amount of energy contained in them (Tab. 1 and 2). For the part of repair and maintenance, we worked with an assumption that maintenance represents 50% of manufacturing costs (ATHANASSIADIS et al. 2002). For the part of technology liquidation, we worked with an assumption that the machines are manufactured at more than 90% from recyclable materials (John Deere Company). For these reasons, recycling costs were not included in the calculation.

Our results indicate that each atoton of the supplied dendromass was loaded in the part of the machines manufacture with 160.01 MJ of primary energy (Tab. 3, 4, 5). The part of manufacture forms only 10% of total energy costs. Total energy consumption during the part of operation amounts to  $1.37 \text{ GJ.At}^{-1}$  (Tab. 11).

The highest amount of energy was consumed for the removal of slash, namely if the tractor-and-trailer unit was employed. Haulage was in the terms of energy consumption more favourable if large loading space lorries were used. Transport of chips directly to the customer appears more advantageous than the intermediate storage. If a calorific value of 20 GJ is expected from one supplied atoton of forest chips (SIMANOV 1993), all energy inputs would total 8% of energy delivered to the customer.

Recenzováno

---

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Miloslav Kotas, Česká lesnická akademie Trutnov  
Lesnická 9, 541 11 Trutnov  
tel.: 499 811 413; e-mail: kotas@clatrutnov.cz