

ANALÝZA CELKOVÝCH DISPONIBILNÝCH ZDROJOV LESNEJ BIOMASY ŤAŽBOVÝCH ZBYTKOV PROSTREDNÍCTVOM KALKULÁTORA VÝŤAŽNOSTI NADZEMNEJ DENDROMASY

Ivan Sačkov

Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53,
Zvolen, Slovensko, isackov@vsl.d.tuzvo.sk

Abstract

Quantification of available potential of dendromass in forest stands has got essential task for larger energy utilization. Application of Calculator of extraction of above-the-ground dendromass software provides quick and exactly located estimation of total above-the-ground biomass of felling residues for specific forest stand. This estimation provides knowledge about economical yield of further processing or which rank of moisture is most lucrative to sell that (green wood, medium moist wood, dry wood). Through Calculator of extraction of above-the-ground dendromass was discovered that forest management unit Dobra Niva includes 113280 tons of wood which costs 51 542 310 Slovak crowns.

Kľúčové slová

Dendromass, Calculator of extraction of above-the-ground dendromass

1 Úvod

Z dôvodu pozitívnych ekonomických, environmentálnych a sociálnych charakteristík patrí biomasa k najperspektívnejším obnoviteľným zdrojom energie (OZE). Svojou podstatou umožňuje premenu svojho energetického obsahu najmä na produkciu tepla, chladu, elektrickej energie, bioplynu, ušľachtilých foriem pohonných hmôt a biogénnych palív.

K producentom tohto perspektívneho alternatívneho zdroja energie k fosílnym palivám patrí aj lesné hospodárstvo. Za základný zdroj sa predovšetkým považuje dendromasa nevhodná na mechanické, chemické spracovanie (palivové drevo, ťažbový odpad) a dendromasa zo zdrojov presne určených k produkcii energetického dreva (intenzívne porasty, energetické porasty, energetické plantáže). Celkový ročný potenciál lesnej biomasy na Slovensku do roku 2010 z týchto zdrojov podľa Koncepcie využitia poľnohospodárskej a lesníckej biomasy na energetické účely 2004 (MH SR, 2004) dosiahne približne 1 810 tis. ton a podľa Akčného plánu využívania biomasy 2008 (MH SR, 2008) do toho istého roku až cca 2 432 tis. ton. Pritom aj napriek relatívne veľkému predikovanému potenciálu takýchto zdrojov je súčasná podielová využiteľnosť biomasy na produkcii energii na pomerne nízkej úrovni. Medzi základne dôvody tohto stavu podľa Stratégie vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v SR (MH SR, 2006) patria *trhové bariéry* (chýbajúce dlhodobé stabilné podmienky v systéme výkupných cien

vyrobenej elektriny z OZE, nedostupnosť podporných opatrení pre obyvateľstvo), *technologické bariéry* (statický technologický vývoj zariadení využívajúcich OZE, nedostatočná štruktúrovanosť distribučných sietí a nepripravenosť rozvodných podnikov na začlenenie OZE do štruktúr distribučných sietí, závislosť využívania OZE od prírodných podmienok), *informačné bariéry* (nedostatočná informovanosť obyvateľstva o výhodách a nevýhodách OZE, nedostatočné uplatňovanie nových poznatkov v praxi a vzdelávaní, chýbajúce regionálne koncepcie na využívanie OZE) a *legislatívne bariéry* (nedostupnosť dlhodobých stabilných podmienok definujúcich výkupnú cenu vyrobenej elektrickej energie, chýbajúca povinnosť vykupovať elektrickú energiu z OZE). Podstatnou príčinou prítomnosti spomínaných bariér je fakt, že doteraz absentuje kvantifikácia technicky využiteľného potenciálu lesnej biomasy na Slovensku stanovená jednotnou a širšie prijateľnou metodikou.

Cieľom príspevku je prezentovať metodický postup výpočtu celkových disponibilných zdrojov lesnej biomasy ťažbových zbytkov na Vysokoškolskom lesníckom podniku, LHC Dobrá Niva, podľa Dejmal (1986) v upravenej verzii zostavenej do programovej aplikácie Kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND) podľa Sačkov et al. (2008).

2 Metodika

Vychádzajúc z hlavného cieľa príspevku bolo primárnym záujmom vypracovať metodiku na rýchly predbežný odhad celkovej nadzemnej dendromasy ťažbových zbytkov pre konkrétny lesný porast (objemový, cenový). Spracovanú metodiku ďalej implementovať do softvérovej aplikácie a následne aplikovaný program preveriť na modelovom príklade. Sekundárnym záujmom bolo štatistické a geoinformatické zhodnotenie výsledkov kalkulácie.

2.1 Kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND)

Softvérová aplikácia Kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND) bola programovaná v jazyku PHP (Hypertext preprocessor). Pre chod programu KVND je nutné prepojenie na databázu, ktorá slúži pre ukladanie a načítanie vstupných a výstupných koeficientov. Vzhľadom k dobrej previazanosti s jazykom PHP bol v tomto prípade zvolený databázový systém MySQL. Tieto atribúty vytvárajú nezávislosť aplikácie na platforme s možnosťou jej umiestnenia na webový server, pričom je následne možné jej on-line využitie. Algoritmus je založený na numerickom prepočte koeficientov hmotnostnej výťažnosti jednotlivých zložiek nadzemnej dendromasy pre priemerné vzrastové pomery podľa Dejmal (1986) a koeficientov prepočtu objemu surového dreva na kg v čerstvom, preschnutom a suchom stave vlhkosti podľa (STN 480010). Vzťah prepočtu (zjednodušený algoritmus) má tvar:

$$VND = V * \rho * k \quad [1]$$

kde:

VND – výťažnosť nadzemnej dendromasy (kg)

V – objem dreva stromu s kôrou (m³)

ρ – objemová hmotnosť dreva (kg.m⁻³)

k – koeficient prepočtu objemu surového dreva na kg

Hodnoty získané kalkuláciou sa následne editovali ako nové dva atribúty (objem nadzemnej dendromasy v kg, objem nadzemnej dendromasy v Sk) do dátovej štruktúry výpisu LHP pre LHC Dobrá Niva s rádom relácie 90 a rozmerom relácie 535.

2.2 Geoinformatické zhodnotenie výsledkov kalkulácie KVND

Za účelom geoinformatického vyhodnotenia výsledkov kalkulácií KVND bolo nutné pretransformovať pôvodnú dátovú štruktúru do formy geodatabázy (Personal Geodatabase). Táto činnosť sa prevádzkovala v prostredí ArcGIS 9.1 – ArcCatalog. Relácia upravená o identifikátor geoobjektov tak následne umožňovala priamu analýzu a reprezentáciu disponibilných zdrojov lesnej biomasy v konkrétnych porastoch na modelovom území. Vektorová reprezentácia LHC Dobrá Niva v dvojrozmernom priestore bola analyzovaná v prostredí ArcGIS 9.1 – ArcMap. Po vyhotovení digitálneho modelu terénu, ktorý bol vytvorený v pracovnom prostredí Idrisi 32, sa umožnilo reprezentovať a interpretovať výsledky kalkulácie KVND v trojrozmernom priestore v rámci prostredia ArcGIS 9.1 – ArcScene. Využité boli moduly špeciálnych analýz (Spatial Analyst Tools) a moduly konverzie (Conversion Tools).

2.3 Štatistické zhodnotenie výsledkov kalkulácie KVND

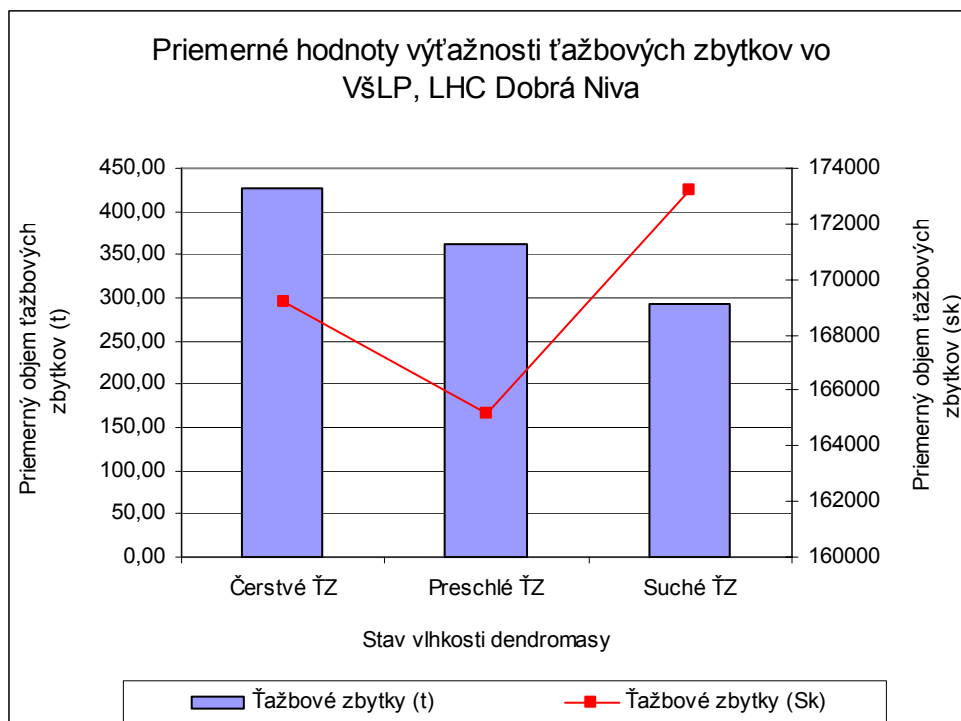
V rámci matematicko-štatistického zhodnotenia výsledkov kalkulácií KVND sa analyzovali základné štatistické charakteristiky výberového súboru hodnôt objemu lesnej biomasy pre konkrétny stav vlhkosti a pre konkrétnu charakteristiku – kategória lesov, pásmo hygienickej ochrany, expozícia, sklon, približovacia vzdialenosť, vek, zastúpenie, zakmenenie. Metódou regresnej a korelačnej analýzy sa následne vyhodnocovala závislosť medzi závislou premennou - kalkulovaný objem lesnej biomasy a nezávislými premennými – expozícia, sklon, zakmenenie, vek. Odhad parametrov regresného modelu sa vykonal metódou najmenších štvorcov (OLS) a nevychýlenosť štatistického odhadu bola prevedená v postupnosti najprv kvantil-kvantilovými (Q-Q) grafmi pri overovaní predpokladu normálneho náhodného rozdelenia reziduálnych odchyľok, reziduálnymi grafmi pri overovaní homogenity rozptylu a nezávislosti reziduálnych odchyľok. Správnosť regresného modelu bola diagnostikovaná klasickým F-testom na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ktorý je založený na rozklade reziduálnej sumy štvorcov na zložky podľa zdroja, ktorý ju spôsobil. Konečná tesnosť viacnásobnej regresnej a korelačnej analýzy bola kvantifikovaná viacnásobným korelačným koeficientom a veľkosť individuálneho vplyvu konkrétnej premennej sa posudzovala na základe štandardizovaných regresných koeficientov. V rámci diagnostiky konkrétnych korelačných väzieb sa finálne pristúpilo k parciálnym korelačným analýzám medzi premennými, ktoré boli vyhodnotené graficky (bodové grafy s vyrovnáním) aj matematicky (korelačný koeficient, koeficient determinácie, p-level).

3 Výsledky

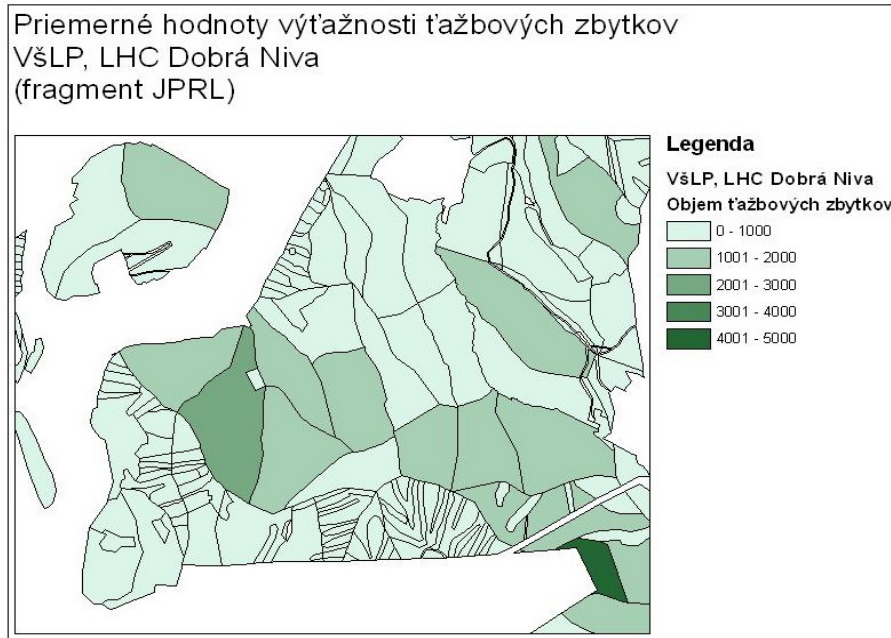
Primárnym výsledkom bola programová aplikácia Kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND). Recenzovaná beta verzia je dostupná ako freeware na internetovej stránke <http://kvnd2.livel.org>. Ovládanie je intuitívne, pričom užívateľovi stačí po výbere vstupných

taxačných charakteristík (drevina – smrek, jedľa, borovica, smrekovec, buk, dub; hrúbka stredného kmeňa – 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50), zadaní kalkulačných charakteristík (objem dreva v plnometroch stromu s kôrou) aktivovať výpočet a algoritmus prepočtu objemových jednotiek (m^3) na jednotky hmotnostné (kg) a to pre jednotlivé zložky stromu (výťažnosť nadzemnej dendromasy celkom, výťažnosť asimilačných orgánov, výťažnosť vetiev) sa spustí automaticky. Cenová výťažnosť je možná až po editovaní ceny dendromasy na kg pre jednotlivé vlhkostné stavy. Po zadaní ceny prebieha výpočet automaticky v rámci predošlého postupu.

Výsledky kalkulácie výťažnosti nadzemnej dendromasy prostredníctvom KVND pre VŠLP, LHC Dobrá Niva sú zobrazené na obrázku 1. Plošný graf prezentuje objem dendromasy v tonách jednotlivo v čerstvom (priemerne 60 %), preschnutom (priemerne 40 %), suchom (priemerne 20 %) stave vlhkosti. Pribeh je logicky degresívny od priemerne 426 ton čerstvej lesnej biomasy na porast až po priemerne 292 ton suchej lesnej biomasy na porast. Líniový graf reprezentuje možné výnosy, ktoré by vyplynuli z predaja vykalkulovaného objemu v konkrétnom stave vlhkosti. Z priebehu je možné usudzovať, že ekonomicky najefektívnejšie by bolo predat túto dendromasu v suchom stave vlhkosti, čo by sa dosiahlo približne po šiestich mesiacoch prirodzeného sušenia a zhodnotilo by sa tak priemerne 173 244 Sk na porast. Najmenší finančný efekt by sa dosiahol pri skladovaní vyťaženej drevnej hmoty do preschnutého stavu (priemerne 165 200 Sk za porast) a preto by bolo viac vhodné zhodnotiť kalkulovaný objem dendromasy priamo po ťažbe, bez ďalšej úpravy, kedy dosahuje priemerné speňaženie lesnej biomasy v čerstvom stave vlhkosti úroveň 169 160 Sk za porast. Komplexný prehľad celkových zdrojov lesnej biomasy na modelovom území ponúka vektorová reprezentácia na obrázku 2. Jednotlivé jednotky priestorového rozdelenia lesov sú diferencované v intervale 0-1000 ton lesnej biomasy tak aby sa



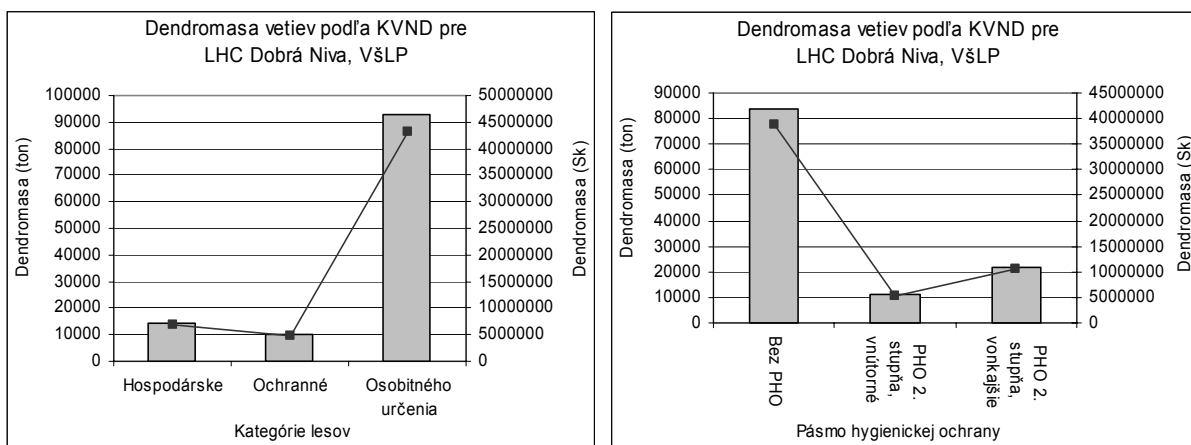
Obr. 1 Priemerné hodnoty výťažnosti celkovej nadzemnej dendromasy ťažbových zbytkov vo VŠLP, LHC Dobrá Niva



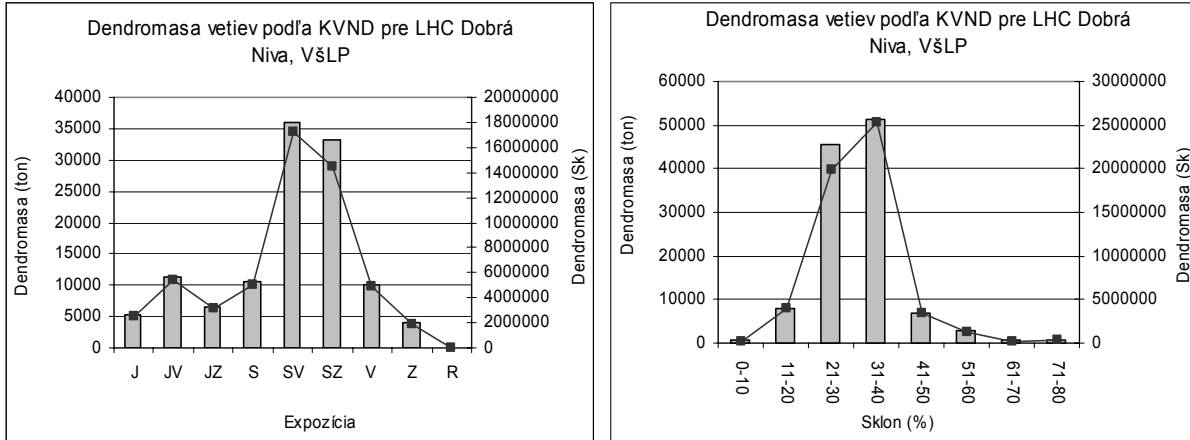
Obr. 2 Priemerné hodnoty výťažnosti celkovej nadzemnej dendromasy ťažbových zbytkov vo VšLP, LHC Dobrá Niva

pokryl celkový objem kalkulácie s hodnotou priemerne 113 280 ton a 51 542 310 Sk za vlhkostné stavy.

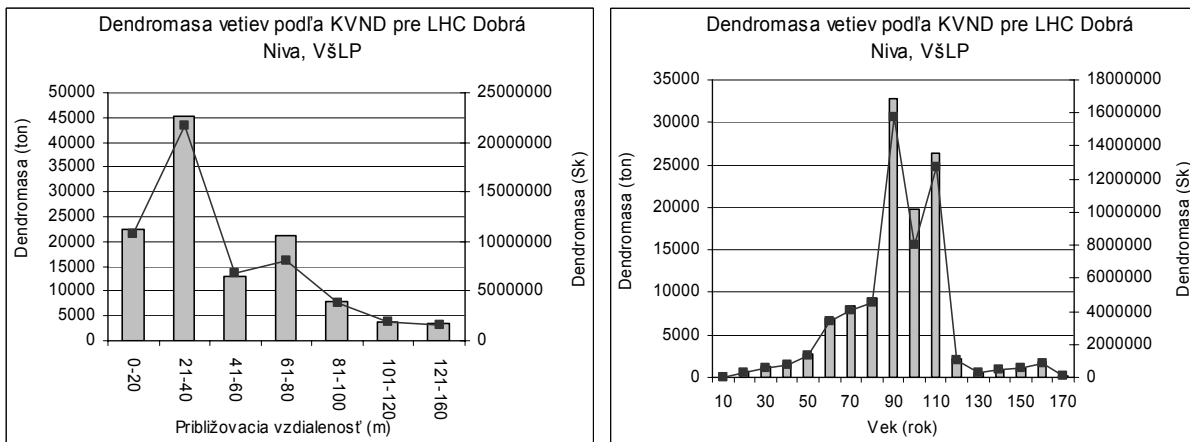
V rámci analýzy, ktorá vychádzala z údajov geodatabázy modelového územia, sa následne zhodnotili podiely vykalkulovaného objemu dendromasy na konkrétne lesno-technické charakteristiky. Z grafického prehľadu na obrázku 3 vyplýva, že najviac lesnej biomasy sa nachádza v lesoch osobitného určenia a v porastoch bez pásma hygienickej ochrany. Z obrázku 4 je zrejmé, že severovýchodné a severojužné expozície pri priemernom sklone 20-40 % sú v rámci alokácie lesnej biomasy dominantné. Extrém vykalkulovaného objemu sa dosahuje pri približovacích vzdialenostiach 21-40 m a veku 90-110 rokov, čo interpretuje obrázok 5.



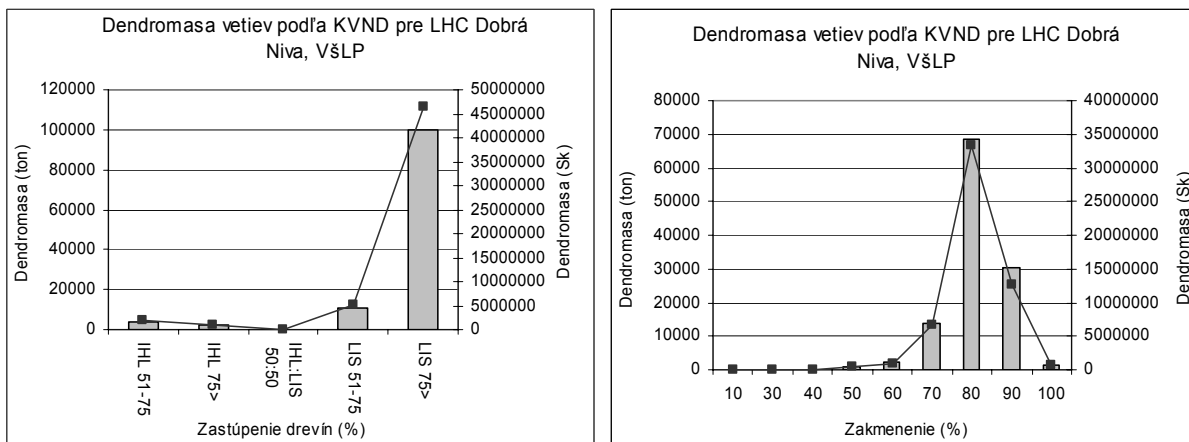
Obr. 3 Priemerné podiely dendromasy ťažbových zbytkov za charakteristiku vo VšLP, LHC Dobrá Niva



Obr. 4 Priemerné podiely dendromasy ťažbových zbytkov za charakteristiku vo VŠLP, LHC Dobrá Niva



Obr. 5 Priemerné podiely dendromasy ťažbových zbytkov za charakteristiku vo VŠLP, LHC Dobrá Niva



Obr. 6 Priemerné podiely dendromasy ťažbových zbytkov za charakteristiku vo VŠLP, LHC Dobrá Niva

Pár grafov na obrázku 6 prezentuje, že najväčší podiel dendromasy KVND vykalkuloval v porastoch s väčšinovým zastúpením listnatých drevín pri zakmenení 0,8. Po overovaní predpokladov o dátach sa pri testovaní výberu prostredníctvom kvantilových Q-Q grafov a grafov reziduálnych ukázalo, že normalita výberu a homogenita rozptylu bola mierne narušená. Napriek tomu, keď že porušenie bolo mierne, sa pristúpilo k viacnásobnej regresnej a korelačnej analýze, ktorej výsledky obsahuje tabuľka 1. V preverovanom modeli sa na základe F-testu vyvrátila nulová hypotéza o štatistickej nevýznamnosti regresného modelu, teda na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ model vysvetľuje štatisticky významnú časť variability.

Tab. 1 Výsledky viacrozmernej regresnej a korelačnej analýzy

$r_{yx}=0,55$ $r^2_{yx}=0,27$ $F(4,350)=33,59$ $p<0,000$ $s_{yx}=396,68$						
Nezávislé premenné X n=355	Beta	Stredná chyba Beta	B	Stredná chyba B	t(350)	p-level
Abs. člen b0			-1032,51	184,7468	-5,58878	0,000000
Expozícia	0,041012	0,045451	0,17	0,1836	0,90234	0,367499
Sklon	-0,089587	0,046743	-3,34	1,7434	-1,91659	0,056104
Zakmenenie	0,315921	0,050874	12,40	1,9970	6,20992	0,000000
Vek	0,593842	0,051906	6,95	0,6078	11,44065	0,000000

Na základe hodnoty viacnásobného korelačného koeficienta môžeme posúdiť tesnosť vzťahu medzi závislou a nezávislými premennými, ktorá má stredný stupeň, pričom prostredníctvom koeficienta determinácie sme schopný vysvetliť len 27 % rozptylu hodnôt spôsobenej ich vplyvom. Najväčší vplyv na variabilitu závislej premennej sa prejavil pri premennej vek a následne zakmenenie. Charakteristika expozícia a sklon zaznamenávajú len malý vplyv.

Podobne sa prejavila aj signifikantnosť vplyvu na hladine významnosti 0,05 pri premennej vek a zakmenenie pričom premenná sklon tesne nedosiahla stanovenú hladinu významnosti. Na základe hodnôt štandardizovaných regresných koeficientov ďalej môžeme posúdiť, že čím sa bude zvyšovať vek, zakmenenie a klesať sklon tak disponibilnej lesnej biomasy bude pribúdať. Individuálnu silu vzťahu medzi závislou premennou a konkrétnou premennou nezávislou je ďalej možné diagnostikovať prostredníctvom parciálnej korelácie. Na hladine významnosti 0,05 sa týmto spôsobom signifikantnosť vplyvu potvrdila tentoraz len pri premennej vek, ktorá zaznamenáva aj najväčšiu tesnosť korelácie a na rozptyle hodnôt výťažnosti biomasy sa podieľa 19 %. Sila závislosti vykalkulovaných hodnôt lesnej biomasy v hmotnostných jednotkách k premenným expozícia, sklon a zakmenenie sa prejavila ako nízka až žiadna. Súvisí to s tým, že stanovený lineárny regresný model nevysvetľuje štatisticky významnú časť variability na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, resp. v rámci F-testu prijímame nulovú hypotézu o štatistickej nevýznamnosti lineárneho regresného modelu. K uspokojuvemu vysvetleniu variability však nedošlo ani pri použití nelineárnych funkcií, kedy sa korelačný koeficient a index korelácie pohyboval v rozmedzí miernej až strednej sily závislosti.

4 Záver

Kvantifikácia disponibilného potenciálu dendromasy v lesných porastoch má podstatný vplyv na širšie využitie jedného z najperspektívnejších druhov obnoviteľných zdrojov energie. Aj keď

súčasnú odhad predstavujú termínované predikcie, tie majú všeobecný charakter, absentuje pri nich presnejšia lokalizácia zdrojov a hlavne širšie prijateľná metodika výpočtu.

Nové možnosti optimalizácie tohto negatívneho stavu rieši Kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND). Samostatne integruje poznatky lesníckych disciplín a informatiky. Na základe toho umožňuje presne a rýchlo lokalizovať celkové disponibilné množstvá lesnej biomasy v diferenciácií na výťažnosť nadzemnej dendromasy celkom, výťažnosť asimilačných orgánov, výťažnosť vetiev. Objemový odhad v hmotnostných či peňažných jednotkách je navyše možný z ľubovoľného miesta, ktoré umožňuje pripojenie na web, teda aj lesný porast prostredníctvom mobilného telefónu s podporou WAP. Na základe peňažných výstupov, po kalkulácií nákladov na spracovanie, je následne priamo z miesta kalkulácie možná analýza ekonomickej efektívnosti konkrétneho zdroja. V celku teda KVND ponúka rýchly, presne lokalizovaný odhad výťažnosti nadzemnej dendromasy ťažbových zbytkov pre konkrétny lesný porast s poznatkom či je vôbec ekonomicky efektívne jej ďalšie spracovanie, resp. kedy je najvýhodnejšie ju zhodnotiť predajom (čerstvý, preschnutý, suchý stav vlhkosti).

Funkčnosť beta verzie KVND bola testovaná v rámci kalkulácií výťažnosti nadzemnej dendromasy v lesných porastoch Vysokoškolského lesníckeho podniku, LHC Dobrá Niva. Z výsledkov vyplynulo, že spomínané územie celkovo disponuje 113 280 tonami drevnej hmoty, ktorá zväčša spadá do kategórie ťažbového odpadu. Speňaženie tohto objemu by následne znamenalo hodnotu 51 542 310 Sk v rámci priemernej ceny 481 Sk.t⁻¹. Podielovo najväčšie množstvá v rámci modelového územia sa nachádzajú v lesoch osobitného určenia, porastoch bez pásma hygienickej ochrany, severovýchodných a severojužných expozíciách, pri priemernom sklone 20-40 %, približovacích vzdialenostiach 21-40 m, veku 90-110 rokov a v porastoch s väčšinovým zastúpením listnatých drevín pri zakmenení 0,8. Pri viacnásobnej korelačnej a regresnej analýze sa dokázal významný vplyv na vykalkulovaný potenciál lesnej biomasy pri charakteristike vek a zakmenenie. Pri testovaní významnosti parciálnej sa ale preukázal už len pri premennej vek. Súčasne bola preukázané, že čím sa bude zvyšovať vek, zakmenenie a klesať sklon tak vykalkulovanej disponibilnej lesnej biomasy bude pribúdať.

Napriek tomu, že v rámci testovania beta verzie KVND sa potvrdila korektnosť aplikácie, je nutné preveriť užšiu presnosť kalkulácií. Možnosťou je porovnať výsledky s produktom Sibyla - kalkulačný model Biomasa prostredníctvom testov hypotéz stredných hodnôt. Ďalej porovnať metodiku s inými publikovanými riešeniami tejto problematiky (Humer 1994, Sprenger 2003, Messingerová 2006, Stanovský 2006), alebo vykonať empirický výskum na potvrdenie totožnosti vykalkulovanej výťažnosti nadzemnej dendromasy KVND s výťažnosťou skutočnou.

Príspevok vznikol na základe výsledkov výskumu riešenia v projektoch: „Výskum vybraných ergonomických parametrov perspektívnych technológií výroby dreva v lesníctve“ – VEGA 1/2381/05, a „Teoretické princípy a praktická účinnosť multioperačných výrobných technológií pri ťažbe a spracovaní dendromasy na energetické a priemyselné využitie“ VEGA - 1/3522/06.

5 Referencie

1. Humer, G. 1994. Energie aus Biomasse in Oberösterreich. In International Holzmarkt. roč. 85, č. 12, s. 22-24.
2. Messingerová, V. 2006. Použitie viacoperačnej lanovky Mouny 4000 v horských oblastiach Slovenska. In Zborník referátov z medzinárodného seminára Perspektívy vývoja ťažbovo dopravného procesu a využitia biomasy v lesnom hospodárstve, s. 137-142.
3. MH SR, 2004: Koncepcia využitia poľnohospodárskej a lesníckej biomasy na energetické účely 2004
4. MH SR, 2006: Stratégie vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v SR.
5. MH SR, 2008: Akčný plán využívania biomasy 2008.
6. Sprenger, A. 2003: Mehr Ökostrom aus Biomasse. In Österreichische Forstzeitung – Fachzeitschrift für Wald, Forstwirtschaft und Landschaft, Forsttechnik, Wildbach und Lawinenverbauung, Jagdwirtschaft. roč. 114, č. 8, s. 5.

Recenzoval: Ing. Andrea Majlingová, PhD.