

VYBRANÉ PRODUKČNÉ A ENERGETICKÉ VLASTNOSTI TOPOĽA POPULUS X EUROAMERICANA KLON MAX 4

SELECTED PRODUCE AND ENERGY CHARACTERISTICS FROM POPULUS X EUROAMERICANA CLONE MAX 4

Martin Lieskovský

ABSTRACT

Biomass is one of the most effective renewable energy sources, with highest potential for future. Poplars are widely used to produce biomass for energy. This article presents the methodology and results of experimental testing of the calorific value and ash content of the wood-chips produced from *Populus x euroamericana* clone MAX 4.

Monitoring of dendrometric wood properties was carried out on 1 144 individuals, and to assess the production can be stated as follows: the average taking of the monitored area was 95.9%, the thickness strain in the middle $d_{1,3}$ is 7.8 mm and an average height is 1.48 m. The relative Poplar wood moisture was $w_r = 59.19 \%$, and of bark $w_r = 52.29 \%$. The gross calorific value of wood and bark of the clone MAX 4 was assessed through an experimental measurement in a calorimeter for solid fuels, model IKA C 200. Net calorific value of wood and bark were calculated from the gross calorific value $q_{v,gr,d}$, as well as the hydrogen $[w_{(H)d}]$ and relative moisture $[M_T]$ in the wood-chips.

The gross calorific value and net calorific value of wood was $q_{v,gr,d} = 19\,882 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $q_{v,net,m} = 8\,345 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. The gross calorific value and net calorific value of bark was also assessed $q_{v,gr,d} = 20\,372 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $q_{v,net,m} = 9\,607 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

The share of bark in the wood-chips was assessed 32.7 %. Ash content of wood was assessed $A_d = 1.3 \%$ and of bark $A_d = 4.0 \%$. Observed values have been determined for one-year-old poplar cuttings and they are higher than the chips at the end of the production period for about 4 years.

Key words: Poplar clone MAX 4, Calorific value, Ash content, Share of bark, Humidity.

ÚVOD

Topole a vrbý patria medzi rýchlorastúce dreviny, ktoré sa vyznačujú vysokou produkciou dreva. Využívame ich pri zakladaní porastov rýchlorastúcich drevín (RRD). Plantáže rýchlorastúcich drevín sú systémy hospodárskeho využitia krajiny, ktoré kombinujú praktiky lesného hospodárstva a poľnohospodárstva. V nemeckej odbornej literatúre sa tiež môžeme stretnúť s termínmi Kurzumtrieb, Feldholz, Plantagenholz, vo svete sa používa názov Short Rotation Coppice (SRC) – porasty s krátkou rubnou dobou. Zber dendromasy z takýchto porastov sa uskutočňuje v intervaloch (rotáciách) 2–10 rokov v závislosti od druhu rotácie a spôsobu využitia vyprodukovaného dreva.

Pri porastoch RRD je odporúčaná maximálna doba pestovania 20–25 rokov. Po tomto čase dochádza k výraznému poklesu produkcie dreva z výmladkov. Efektívne pestovanie rýchlorastúcich drevín na lesnej a nelesnej pôde musí byť založené na princípoch uplatnenia najnovších poznatkov šľachtenia a progresívnych pestovných technológií.

V posledných rokoch sa venuje problematike využívania cielene pestovanej biomasy na lesnej a nelesnej pôde zvýšená pozornosť vzhľadom na zabezpečenie diverzifikácie zdrojov pre energetický priemysel. Hodnotenie produkcie, ako aj energetických vlastností dreva a kôry rýchlorastúcich drevín môžeme nájsť v prácach autorov: TUROK *et al.* 1999, THARAKAN *et al.* 2003, KLASNJA *et al.* 2002, ALI 2007, WEGER 2009, DZURENDA *et al.* 2014, DZURENDA *et al.* 2010, SKODAWESSELY *et al.* 2010, ASHTON ACTON *et al.* 2012, HERING *et al.* 2013, MESSINGEROVÁ *et al.* 2011.

Cieľom príspevku je zhodnotiť zistené výsledky experimentálnych meraní vykonaných za účelom stanovenia produkčných a energetických vlastností dreva a kôry *Populus x euroamericana* MAX 4 pestovaných na plantážach v oblasti južného Slovenska. Je to klon, ktorý pochádza z Japonska a vznikol krížením *Populus maximowiczii* × *Populus nigra*, do Českej republiky bol prvý krát dovezený v roku 1992 a na trhu predávaný – pod komerčným označením J-105 (ČÍŽEK, ČÍŽKOVÁ 2009). V príspevku je hodnotenie energetických charakteristík dreva a kôry, pričom medzi sledovanými parametrami boli relatívna vlhkosť, spaľovacie teplo, výhrevnosť a obsah popola. Okrem týchto charakteristík bol stanovený podiel dreva a kôry pre jedinca z priemernou výškou a hrúbkou z jednoročného porastu plantáže RRD. V rámci hodnotenia produkčných dendrometrických charakteristík dreviny, boli sledované ujatosť, hrúbka stredného kmeňa v $d_{1,3}$ a priemerná výška.

EXPERIMENTALNA ČASŤ

Pre získanie empirického materiálu boli v roku 2013 sledované plochy, na ktorých bolo vysadených celkovo 284 000 rezkov na redukovanej ploche 35,5 ha. Vzorky dreviny topoľ klon MAX 4 pre určenie energetických vlastností boli odobraté z komerčne pestovaných jednoročných porastov rýchlorastúcich drevín po prvom vegetačnom období v katastri obce Trebušovce.

Stanovenie produkčných charakteristík drevín vychádzalo z aplikovania všeobecných zásad zisťovania dendrometrických veličín (ŠMELKO 2007) s aplikáciou metódy priameho merania na skusných plochách podľa vopred pripraveného výberového plánu. Hrúbka stredného kmeňa bola meraná vo výške 1,3 m elektronickou priemerkou s presnosťou na 0,1 mm. Výška bola meraná výškomernou latou a určovaná s presnosťou na 0,1 m.

Podiel dreva a kôry v sledovaných vzorkách bol stanovený v Laboratóriu nedrevných materiálov na základe hmotnosti v čerstvom stave podľa STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny. Zastúpenie kôry v energetickej štiepke bolo vypočítané zo vzťahu:

$$X_k = \frac{m_k}{m_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde: m_k – hmotnosť kôry vo vzorke [g],
 m_c – hmotnosť celej vzorky [g].

Relatívna vlhkosť dreva a kôry bola stanovená pre stredný kmeň po 20 cm sekciách. Určenie relatívnej vlhkosti bolo stanovené podľa STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny samostatne pre drevo a pre kôru. Sušenie vzoriek sa vykonáva v sušiarňi pri teplote 103 ± 2 °C do konštantnej hmotnosti. Z hmotnosti vzorky

pred vysušením a po vysušení je možné vypočítať relatívnu vlhkosť W_r . Relatívna vlhkosť dreva je definovaná ako podiel hmotnosti vody nachádzajúcej sa vo vzorke dreva k hmotnosti vlhkej vzorky dreva. Stanovenie relatívnej vlhkosti vyjadruje vzťah:

$$W_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

m_w – hmotnosť vlhkej vzorky [g]

m_0 – hmotnosť vzorky po vysušení [g]

Stanovenie spaľovacieho tepla dreva a kôry bolo vykonané laboratórne kalorimetrom IKA C 200. Postup meraní spaľovacieho tepla vychádza z požiadaviek normy STN ISO 1928:2003 a na základe vzťahu definovaného v tej istej norme boli vypočítané hodnoty výhrevnosti pre analyzované vzorky podľa nasledujúceho vzťahu:

$$q_{v,net,m} = [q_{v,gr,d} - 206,0 \cdot w(H)_d] \cdot (1 - 0,01 \cdot M_T) - 23,05 \cdot M_T \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3)$$

kde: $q_{v,net,m}$ – výhrevnosť paliva pri konštantnom objeme s obsahom vody [kJ·kg⁻¹]

$q_{v,gr,d}$ – spaľovacie teplo pri konštantnom objeme v bezvodom stave [kJ·kg⁻¹]

$w(H)_d$ – percentuálny podiel vodíka [%]

M_T – obsah celkovej vody v palive pre ktorý sa prepočet vyžaduje – relatívna vlhkosť [%]

Hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti energetických štiepok popisujú rovnice:

$$q_{(\delta)v,gr,d} = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot q_{(D)v,gr,d} + \frac{X_K}{100} \cdot q_{(K)v,gr,d} \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4)$$

$$q_{(\delta)v,net,m} = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot q_{(D)v,net,m} + \frac{X_K}{100} \cdot q_{(K)v,net,m} \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (5)$$

kde: $q_{(\delta)v,gr,d}$ – spaľovacie teplo štiepok v suchom stave [kJ·kg⁻¹]

$q_{(D)v,gr,d}$ – spaľovacie teplo dreva v suchom stave [kJ·kg⁻¹]

$q_{(K)v,gr,d}$ – spaľovacie teplo kôry v suchom stave [kJ·kg⁻¹]

$q_{(\delta)v,net,m}$ – výhrevnosť štiepok pri vlhkosti v čase zberu [kJ·kg⁻¹]

$q_{(D)v,net,m}$ – výhrevnosť dreva pri vlhkosti v čase zberu [kJ·kg⁻¹]

$q_{(K)v,net,m}$ – výhrevnosť kôry pri vlhkosti v čase zberu [kJ·kg⁻¹]

X_K – percentuálne zastúpenie kôry [%]

Postup prác pri stanovovaní popola vychádza z požiadaviek normy STN EN 14775:2010: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola. Podstatou metódy je spaľovanie vysušenej vzorky s relatívnou vlhkosťou $W_r = 0$ %, ktorá sa zahrieva na vzduchu na teplotu 550 ± 10 °C a pri tejto teplote sa udržiava do konštantnej hmotnosti. Obsah popola sa vypočíta z hmotnosti zvyšku po spálení podľa vzťahu:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

kde: m_1 – hmotnosť prázdnej misky [g]

m_2 – hmotnosť misky so skúšobnou vzorkou [g]

m_3 – hmotnosť misky s popolom [g]

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Sledovanie dendrometrických vlastností dreviny bolo uskutočnené na 1144 jedincoch, pričom pre hodnotenie produkcie možno konštatovať nasledovné: priemerná ujatosť na sledovanej ploche bola 95,9 %, hrúbka stredného kmeňa v $d_{1,3}$ bola 7,8 mm a priemerná výška 1,48 m.

Podiel dreva a kôry bol stanovený po mechanickom oddelení jednotlivých zložiek v laboratóriu na základe hmotnostného pomeru v čerstvom stave. Spracované boli celé nadzemné časti topoľov MAX 4. Výsledky popisuje tabuľka 1:

Tab. 1 Percentuálne podiely kôry v dendromase jednoročných topoľov klon MAX 4.

Tab. 1 Percentages of bark in woody biomass of one-year-old poplars clone MAX 4.

Topoľ MAX 4	Celková hmotnosť [g]	Hmotnosť dreva [g]	Hmotnosť kôry [g]	Podiel kôry [%]
vzorka 1	137,99	86,88	51,11	37,0
vzorka 2	191,85	130,09	61,76	32,2
vzorka 3	301,75	211,57	90,18	29,9
vzorka 4	266,35	181,96	84,39	31,7
priemer	224,49	152,63	71,86	32,7

V troch sledovaných vzorkách podiel kôry prekračuje hodnotu pre energetické štiepky povolenú v STN 48 0058:2004, ktorá je $X_K = 30$ %. DZURENDA, ZOLIAK (2011) udávajú podiel kôry v energetických štiepkach 4 ročného porastu topoľa MAX 5 v rozpätí od 14,47 do 15,34 %. Namerané hodnoty sú viac ako dvojnásobkom podielu kôry 4 ročného porastu, čo je spôsobené nízkym vekom nami sledovaných topoľov (koniec 1 vegetačného obdobia) a s tým súvisiacim prirodzeným fyziologickým vývojom dreviny. Priemernú hodnotu podielu kôry pre príbuzný klon MAX 1 udávajú GALLARDO, SEYMOUR (2012) na úrovni 28 %.

Vývoj relatívnej vlhkosti bol u dreva a kôry hodnotený ako priemerná vlhkosť pre celý vzorník a pri sledovaných vzorkách meraný v každej 20 cm sekcii samostatne. Z nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že relatívna vlhkosť dreva je najvyššia vo výške 20–60 cm a najnižšia pri terminálnom výhonku. Jednotlivé hodnoty sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Relatívna vlhkosť dreva a kôry jednoročných topoľov klon MAX 4.

Tab. 2 Relative moisture of wood and bark of one-year-old poplars clone MAX 4.

Topoľ MAX 4	Namerané hodnoty relatívnej vlhkosti [%]							
	drevo				kôra			
	Min.	Max.	Priemer	Smerod. odchýlka	Min.	Max.	Priemer	Smerod. odchýlka
vzorka 1	56,75	61,48	59,36	1,59	48,86	54,95	51,68	2,03
vzorka 2	56,25	61,08	58,80	1,93	47,95	54,02	51,60	1,72
vzorka 3	56,78	63,42	59,43	5,33	50,74	56,32	53,58	1,71
vzorka 4	52,95	57,30	54,48	1,49	50,07	59,84	54,53	3,23
priemer	56,59	61,99	59,19	2,58	49,41	56,28	52,85	2,17

Zber vzoriek pre určenie relatívnej vlhkosti bol vykonaný v novembri 2013 a februári 2014. Z pohľadu energetiky je vyšší dopyt po palive práve v zimných mesiacoch.

Skutočne obsiahnutá a využiteľná energia je ako výhrevnosť vypočítaná v tabuľke 4. Pre výpočet je použitý vzťah (3) podľa STN ISO 1928:2003, kde okrem spaľovacieho tepla a relatívnej vlhkosti vstupuje do výpočtu percentuálny podiel vodíka. Vo výpočte boli použité hodnoty H pre drevo 6,01 % a pre kôru 5,91 %. Tieto hodnoty stanovili

DZURENDA, ZOLIAK (2011) pre topoľ MAX 5, a boli použité vo výpočte, nakoľko sa jedná o príbuzné klony, rozlíšiteľné len podľa DNA analýzy. Výpočet spaľovacieho tepla pre energetické štiepky na základe podielu kôry bol vykonaný podľa vzťahu 4.

Tab. 3 Spaľovacie teplo dreva, kôry a energetických štiepok topoľov klon MAX 4.

Tab. 3 Combustion heat of wood, bark and wood chips of poplar clone MAX 4.

Topoľ MAX 4	Spaľovacie teplo [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] $q_{(D)v.net,m}$		
	Drevo	Kôra	Energetické štiepky
vzorka 1	19 970	20 644	20 219
vzorka 2	19 901	20 663	20 146
vzorka 3	19 776	20 028	19 851
vzorka 4	19 881	20 151	19 967
priemer	19 882	20 372	20 046

Tab. 4 Výhrevnosť dreva, kôry a energetických štiepok topoľov klon MAX 4.

Tab. 4 Calorific value of wood, bark and wood chips of poplar clone MAX 4.

Topoľ MAX 4	Výhrevnosť [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] $q_{(D)v.gr,d}$		
	Drevo	Kôra	Energetické štiepky
vzorka 1	8 114	9 973	8 802
vzorka 2	8 197	9 999	8 777
vzorka 3	8 021	9 295	8 402
vzorka 4	9 048	9 161	9 084
priemer	8 345	9 607	8 766

Priemerná hodnota spaľovacieho tepla dreva v suchom stave bola $19\,882\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, čo je o 2,4 % menej ako u kôry ($20\,372\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Výhrevnosť kôry v čase zberu je vyššia o viac ako 15,1 %, čo súvisí okrem iného s nižšou relatívnou vlhkosťou kôry v čase zberu o 6,9 %. Spaľovacie teplo suchých energetických štiepok ($W_r = 0\%$) je $20\,046\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Podiel popola vo vzorkách analyzovaných topoľov klon MAX 4 bol stanovený pre jednotlivé 20 cm sekcie podľa STN EN 14775:2010. Empirické hodnoty obsahu popola v dreve a kôre prezentuje tabuľka 5.

Tab. 5 Podiel popola dreva a kôry jednorôčných topoľov klon MAX 4.

Tab. 5 Proportion of ash wood and bark of one-year-old poplar clone MAX 4.

Podiel popola [%]	Drevo		Kôra	
	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka	Priemerná hodnota	Smerodajná odchýlka
vzorka 1	1,2	0,2	4,2	0,2
vzorka 2	1,2	0,1	3,6	0,1
vzorka 3	1,3	0,1	4,4	0,0
vzorka 4	1,3	0,1	3,7	0,3
priemer	1,3	0,1	4,0	0,2

Z výsledkov empiricky stanovených hodnôt obsahu popola je možné konštatovať, že podiel popola v dreve jednorôčných topoľov je 1,3 %, v kôre je popola o takmer 220 % viac. Priemerná hodnota popola v kôre je 4,0 %. Tieto hodnoty sú výrazne vyššie ako hodnoty udávané pre 4 ročný topoľ klon MAX 5, kde DZURENDA, ZOLIAK (2011) udávajú hodnoty popola v dreve 0,3 % a v kôre 3,2 % pričom pre stanovenie obsahu popola použili normu STN ISO 1171 a zahrievali vzorku na $815 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$. Priemerné hodnoty podielu popola sú pri plantážnicky pestovaných topoľoch vyššie ako pri vrbach. Pre klon MAX 1 udávajú GALLARDO, SEYMOUR (2012) podiel popola v dreve 0,6 % a v kôre 3,9 %.

ZÁVER

Ujatost' rezkov topola MAX 4 po prvom vegetačnom období bola 95,9 %. Hrubka stredného kmeňa v $d_{1,3}$ bola 7,8 mm a priemerná výška 1,48 m. Percentuálny podiel kôry v nadzemnej dendromase topola MAX 4 bol v rozpätí od 29,9 % do 37,0 %. Priemerná relatívna vlhkosť dreva bola 59,19 %, priemerná relatívna vlhkosť kôry bola o takmer 12 % nižšia na úrovni 52,29 %. Spaľovacie teplo dreva bolo od 19 776 kJ·kg⁻¹ po 19 970 kJ·kg⁻¹. Namerané hodnoty spaľovacieho tepla kôry boli na úrovni od 20 028 kJ·kg⁻¹ do 20 644 kJ·kg⁻¹. Z týchto hodnôt boli vypočítané hodnoty výhrevnosti pre drevo 8 345 kJ·kg⁻¹ a pre kôru 9 607 kJ·kg⁻¹. Príčinou výrazného rozdielu výhrevnosti kôry a dreva v prospech výhrevnosti kôry je jej nižšia relatívna vlhkosť. Priemerná hodnota podielu popola pre drevo bola 1,3 % a pre kôru 4,0 %.

LITERATÚRA

- ALI, W. 2007. Estimation of Production Potential of Short Rotation Forestry on Agricultural Land of Saxony. S. 101–105 http://sektionertragskunde.fvabw.de/band2007/Tag2007_09.pdf
- ANDERSON, H.W., BALATINECZ, C.P., CHEN, C.P. & ROY, D.N. 1984. Internal biomass characteristics for efficient energy conversion. In: Morgan, D.J., Gambles, R.L. & Zsuffa, L. (eds.) Proceedings of the Joint Workshop of IEA/FE Programme Groups B, C and D. International Energy Agency, Toronto, Canada. pp. 31–56.
- ASHTON ACTON *et al.* 2012: Issues in Ecosystem Ecology, Scholarty Editions, Atlanta, Georgia, ISBN 978-1-481-64648-2.
- ČÍZEK, V., ČÍŽKOVÁ, L. 2009. Determinace hybridních topolových klonů pěstovaných v České republice. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 10/2009, Strnady : VÚLHM, v.v.i., ISBN 978-80-7417-022-5, ISSN 0862-7657.
- DZURENDA, L., BANSKI, A., DZURENDA, M. 2014. Energetic properties of green wood chips from *Salix viminalis* grown on plantations. Scientia agriculturae bohemica, 45(1): 44–49.
- DZURENDA, L., GEFFERTOVÁ, J., HECL, V. 2010. Energy characteristics of the wood-chip produced from *Salix viminalis* - clone ULV. Drvna industrija, 61(1): 27–3, ISSN 0012-6772.
- DZURENDA, L., ZOLIAK, M. 2011. Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantažnicky pestovanej dreviny populus klon Max 5. Acta Facultatis xylogiae Zvolen, 53(1): 87–92. ISSN 1336-3824.
- GALLARDO, D. A., SEYMOUR, D., 2012: Rindenanteile und Aschegehalt von Pappel- und Weidenhybriden, In: Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb, Universität Göttingen, pp. 119–121, ISBN: 978-3-86395-070-5.
- HERING, T., REINHOLD, G., BIERTÜMPFEL, A., VETTER, A. 2013. Leitlinie zur effizienten und umweltgerechten Erzeugung von Energieholz. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. http://www.tll.de/ainfo/pdf/ll_eholz.pdf.
- KLASNJA, B., KOPITOVIC, S., ORLOVIC, S., 2002: Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood, Biomass and Bioenergy 23: 427–432.
- MESSINGEROVÁ, V. – SAČKOV, I. – VYSKOKOVÁ, Z. 2011. Logistika pre využívanie energie z lesnej biomasy : aplikačné riešenia pre spracovanie biomasy ako energetickej suroviny lesníckou integrovanou ťažbovo-dopravnou technológiou. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 91 s. ISBN 978-80-228-2247-3.
- SKODAWESSELY, PRETZSCH, BEMMANN 2010: Beratungshandbuch zu KUP. Eigenverlag der TU Dresden, ISBN: 978-3-86780-146-1
- STN 48 0058: 2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny.
- STN EN 14775:2010: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola.
- STN EN 14961-1:2010 Tuhé biopalivá – Špecifikácie a triedy palív. Všeobecné požiadavky.
- STN ISO 1928:2003 Tuhé palivá – Stanovenie spalného tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.

ŠMELKO, Š. 2007. Dendrometria. 2. vyd. Zvolen : Technická univerzita, 2007. 400 s. ISBN 978-80-228-1828-5.

THARAKAN, P.J. VOLK, T.A., ABRAHAMSON L.P., WHITE E.H. 2003. Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age. Biomass and Bioenergy, 25(6): 571–580.

WEGER, J. 2009. Hodnocení vlivu délky sklizňového cyklu výmladkové plantáže na produkční a růstové charakteristiky topolového klonu MAX-4 (*Populus nigra* L. × *P. Maximowiczii* Henry), Acta Pruhoniana 92: 5–11, ISSN 0374-5651.

Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: VEGA–SR č. 1/0678/14, Optimalizácia technologických, technických, ekonomických a biologických princípov výroby energetickej dendromasy.

Adresa autora

Martin Lieskovský
Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
lieskovsky@tuzvo.sk

