

# ACTA PRUHONICIANA

92

2009

Výzkumný ústav SILVA TAROUČY  
pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.



Průhonice 2009

**Kolektiv autorů**

Bc. Lucia Bendíková

Ing. Vojtěch Benetka, CSc.

Ing. Kamila Havlíčková, Ph.D.

Bc. Lenka Kašparová

Ing. Kateřina Kozlíková

Ing. Miroslava Lukášová

Ing. Petra Pilařová

Mgr. Ivana Rudišová

Ing. Jan Skaloš, Ph.D.

Mgr. Jiří Suchý

Ing. Jan Weger, Ph.D.

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice

Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6

Ing. Zdeněk Stražil, CSc.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně

Ing. Miroslav Štř, CSc.

Aleš Vondrka

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6

**Foto na titulní straně: Sklizeň nejstarší výmladkové plantáže topolů v ČR (lokality Peklov)**

Photo on the front cover: Harvest of the oldest poplar short rotation coppice in the Czech Republic (locality Peklov)

Copyright © Kolektiv autorů, 2009

ISBN 978-80-85116-70-0 (VÚKOZ, v.v.i. Průhonice)

ISBN 978-80-7415-016-6 (Nová Tiskárna Pelhřimov, s. r. o. Pelhřimov)

ISSN 0374-5651

## OBSAH

Hodnocení vlivu délky sklizňového cyklu výmladkové plantáže na produkční a růstové charakteristiky topolového klonu Max-4 ( <i>Populus nigra</i> L. × <i>P. maximowiczii</i> Henry) .....	5
J. Weger	
Rozbor výnosového potenciálu topolu černého v průběhu tří sklizní při různém sponu rostlin .....	13
V. Benetka, P. Pilařová, K. Kozlíková	
Možnosti genetické identifikace klonů a kříženců topolu Simonova, černého, bavlníkového a Maximovičova ( <i>Populus simonii</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. deltoides</i> , <i>P. maximowiczii</i> ) metodou simple sequence repeat .....	19
M. Lukášová, J. Weger	
Hodnocení polního pokusu s ozdobnicemi ( <i>Miscanthus</i> sp.) po dvou letech růstu na různých stanovištích .....	27
J. Weger, Z. Stražil	
Analýza vlivu výsadeb porostů rychle rostoucích dřevin na strukturu krajiny – návrh metody s využitím starých map a leteckých snímků .....	35
J. Skaloš, L. Bendíková	
Klimatická účinnost porostů rychle rostoucích dřevin v krajině .....	45
M. Šír, J. Weger, A. Vondrka	
Hodnocení biodiverzity v porostech rychle rostoucích dřevin .....	51
K. Havlíčková, L. Kašparová	
Vliv opláštění na biodiverzitu ve výmladkové plantáži rychle rostoucích dřevin .....	55
K. Havlíčková, L. Kašparová, I. Rudišová	
Ekonomika pěstování lesknice rákosovité pro energetické účely .....	61
K. Havlíčková, J. Knápek	
Konkurenceschopnost cíleně pěstované biomasy .....	69
J. Knápek, K. Havlíčková	
Metody zpracování potenciálů trvalých travních porostů, slámy a rychle rostoucích dřevin v systému GIS .....	77
K. Havlíčková, J. Suchý	



# HODNOCENÍ VLIVU DÉLKY SKLIZŇOVÉHO CYKLU VÝMLADKOVÉ PLANTÁŽE NA PRODUKČNÍ A RŮSTOVÉ CHARAKTERISTIKY TOPOLOVÉHO KLONU MAX-4 (*POPULUS NIGRA* L. × *P. MAXIMOWICZII* HENRY)

THE EVALUATION OF THE INFLUENCE OF A ROTATION LENGTH OF SHORT ROTATION COPPICE ON PRODUCTION AND GROWTH CHARACTERISTICS OF POPLAR CLONE MAX-4 (*POPULUS NIGRA* L. × *P. MAXIMOWICZII* HENRY)

Jan Weger

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, weger@vukoz.cz

## Abstrakt

Príspevek shrnuje výsledky hodnocení výnosu a růstu topolového klonu Max-4 (J-105) při pěstování výmladkovým způsobem v jedno-, tří- a šestiletém sklizňovém cyklu (obmýti). Pokus byl založen v roce 2003 v 9leté produkční výmladkové plantáži Peklov a trval 6 let. U stromů byly na vybraných parcelkách měřeny a hodnoceny následující parametry: výška jedince, tloušťka a počet kmenů. V zimních měsících byly podle metodiky prováděny sklizně nadzemní hmoty, vážena její surová hmotnost, určen počet živých jedinců a vypočítán hektarový výnos suché biomasy. Z dosažených výsledků vyplývá, že: i) délka obmýti významně ovlivňuje všechny hodnocené parametry topolu; ii) nejvyšší výnos 11,7t (suš.)/ha/rok byl dosažen při šestiletém obmýti; iii) tloušťka kmenů dosažená při šestiletém obmýti je na horní hranici pro jednofázovou sklizeň zemědělskou mechanizací. Statistické hodnocení (ANOVA, Kruskal-Wallisova analýza) prokázalo rozdíly mezi většinou hodnocených parametrů růstových a výnosových parametrů podle faktoru obmýti.

**Klíčová slova:** výmladkové plantáže, obmýti, výnos, topol, Max-4

## Abstract

The article comprises the results of yield and growth evaluation of poplar clone Max-4 (J-105) grown in short rotation coppice with three lengths of harvesting cycles (rotation): one, three and six year long. The 6 year long experiment was established in 9-year old plantation in Peklov in 2003. Following parameters were measured on trees in testing plots in the end of vegetation period: they were tree height, stem diameter and number of stems per tree. Harvests were performed of above ground biomass in winter months according to methodology. Field yield was weighted and survival rate was counted in aim to calculate hectare yield of dry biomass. It is possible to conclude following from collected results: i) length of harvesting cycles (rotation) is influencing strongly all measured and calculated parameters; ii) highest yield of 11.7 o.d.t/ha/year was at 6-year rotation; iii) stem diameter of stumps at 6-year rotation is reaching maximum size for one-phase harvest by agricultural harvesters. Statistical evaluation (ANOVA, Kruskal-Wallis analysis) confirmed differences between most of evaluated growth and yield parameters according to factor rotation.

**Keywords:** short rotation coppice, rotation, yield, poplar, Max-4

## 1 ÚVOD

Rychle rostoucí dřeviny pěstované ve výmladkových plantážích na zemědělské půdě jsou jednou z perspektivních a již i komerčně pěstovaných energetických plodin druhé generace v Evropě. Z celkové rozlohy okolo 20 000 ha vrbových plantáží se ročně sklízí asi 4 000 ha převážně v jižním Švédsku a Velké Británii. Rozloha vrbových plantáží narůstá také ve východní Evropě – např. v Maďarsku bylo za poslední tři roky vysazeno 2 800 ha vrbových plantáží. Topolové výmladkové plantáže se pěstují asi na 10 000 ha hlavně ve střední a jižní Evropě, nejvíce pak v severní Itálii (cca 6 000 ha), Německu (1 500 ha) a Rakousku (cca 1 000 ha). Ve všech uvedených zemích se počítá s nárůstem rozlohy výmladkových plantáží, přičemž pouze v rámci projektu biorafinérie Choren v německém Schwedtu se počítá se založením 40 000 ha topolových a vrbových plantáží do roku 2025.

Ve výzkumu i praxi v mírném klimatickém pásmu bylo ukázáno, že vybrané druhy a klony topolů a vrb je možno sklí-

zet opakovaně ve velmi krátkých obmýtích (sklízňových cyklech) po dobu 15–30 let při zachování dobré vitality jejich jedinců i porostů (Hyttönen, Isssakainen, 2001; Willebrand et al., 1993; Kopp. et al. 1993, 1997). Jedna z nejstarších pokusných výmladkových plantáží v Evropě je v Hannoversch Mündenu (Německo), kde jsou různé klony topolů (včetně Max-4) pěstovány již 32 let v dvouletém obmýti (Janssen, ústní sdělení). Častěji aplikované obmýti pro topoly v praxi je však 5 let (Burger, Zielinger, ústní sdělení). Z hlediska dosažení maximálního výnosu mnoha klonů topolů by mohlo být obmýti ještě delší – například Weih (2004) uvádí, že roční hmotnostní přírůst topolů vrcholí v boreálních oblastech až kolem desátém roku. Je zřejmé, že délka obmýti je jedním z důležitých faktorů pro optimalizaci výnosů výmladkových plantáží.

Existuje však také dost příkladů, kdy se výmladkové pěstování nezdařilo. Mezi nejčastější důvody nezdařů patří volba nevhodného stanoviště nebo klonu či odrůdy, nekvalitní příprava půdy a výsadba nebo extrémní klimatické podmínky, např.

přísušky při výsadbě. Pro výběr vhodných lokalit pro pěstování výmladkových plantáží byla vypracována rámcová typologie zemědělských půd (Weger, Havlíčková, 2007). V pozdějších letech růstu plantáže roste vliv pěstebních a sklizňových operací na výnos a vitalitu porostu, např. hnojení nebo způsob řezu a délka obmýtí. Pro optimalizaci těchto pěstebních postupů z hlediska zachování výše a délky výnosu zatím nejsou dostupné výsledky z praxe nebo výzkumu.

Vitalita porostů klonů při výmladkovém pěstování závisí zejména na dobré pařezové výmladnosti a dále na výškovém a tloušťkovém přírůstku kmenů. Při pěstování výmladkové plantáže platí, že vyšší výnos a rychlý růst kmenů snižuje některé náklady na pěstování – vznikající korunový zápoj stromů redukuje konkurenci plevelů a vytváří porostní klima příznivé pro růst celého porostu. Kromě geneticky kódovaných vlastností klonů (pařezová výmladnost, rychlý růst) se na dobrém výnosu a vitalitě plantáží podílí také řada dalších podmínek jako jsou vlastnosti stanoviště, volba délky (velmi krátkého) obmýtí, způsob provedení sklizňového řezu a kvalita pěstební péče, které v celkovém součtu nebo i samostatně mohou mít na prospívání konkrétní plantáže stejný vliv jako volba sortimentu pěstovaných klonů topolů a vrb.

Cílem polního pokusu, jehož vybrané výsledky článek předkládá, je ověřování vybraných pěstebních postupů ve výmladkových plantážích topolového klonu Max-4 (J-105) na zemědělské půdě. Příspěvek se zabývá zejména vlivem délky sklizňového cyklu (1, 3 a 6leté obmýtí) na výnos a růstové parametry v nejstarší české výmladkové plantáži Peklov.

## 2 MATERIÁL A METODA

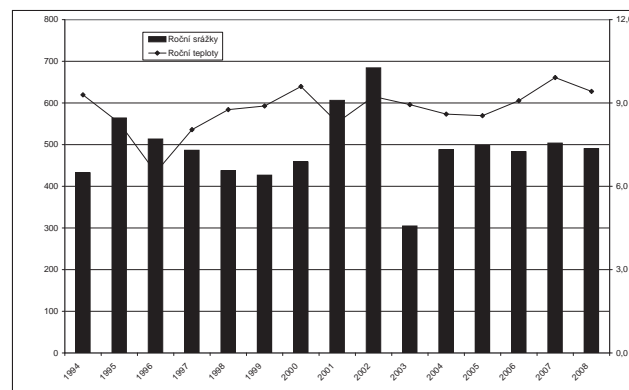
Pokus s hodnocením vlivu délky obmýtí na růstové a výnosové parametry topolového klonu Max-4 byl založen v roce 2003 v části produkčního porostu (výmladkové plantáže) Peklov, k.ú. Hřebeč (u Kladna). Porost byl od svého založení využíván komerčně (produkce dřevní štěpky pro kotelnu) a v roce 2003 byl poskytnut majitelem pro výzkumné účely.

### 2.1 Charakteristika lokality

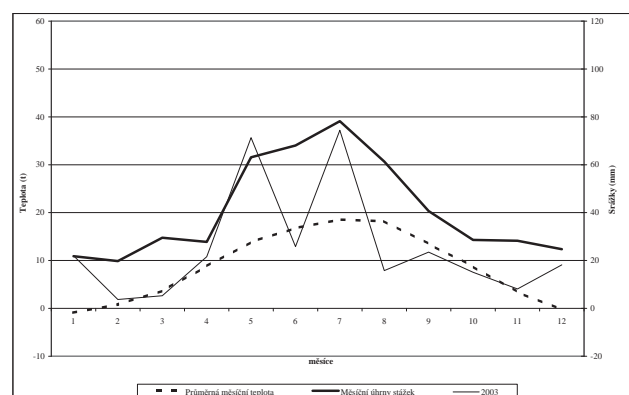
Pozemek leží v rovinatém terénu v nadmořské výšce cca 375 m. Na pozemku je kvalitní, mírně kyselá hnědá půda s příznivou zásobou živin a také poměrně příznivými vláhovými poměry. Bonitační půdně ekologická jednotka (BPEJ) je 42501. Půda ležela před výsadbou několik let ladem a byla silně zaplevelena. Dva týdny před výsadbou topolových řízků byla připravena hlubokou orbou a srovnána.

Klimaticky náleží území do klimatického regionu mírně tep-

lého a suchého (MT1,  $\phi t^{\circ} = 7-8,5^{\circ}C$ ), který je charakteristický nižšími ročními srážkami (450–550 mm) a vyšší pravděpodobností výskytu suchých vegetačních období.



Graf 1 Klimadiagram (1994–2008) a průběh srážek v roce 2003 z nejbližší metostanice Praha-Ruzyně



Graf 2 Průměrná denní teplota a suma srážek v letech existence plantáže Peklov (Praha-Ruzyně, 1994–2008)

Lokalitu, respektive zemědělský pozemek je podle rámcové typologie půd (Weger, Havlíčková, 2007) možno hodnotit jako průměrně příznivý pro pěstování topolů výmladkovým způsobem. Hlavním rizikovým faktorem je výskyt jarních přísušek a suchých vegetačních období.

### 2.2 Charakteristika porostu

Výsadbba porostu – výmladkové plantáže – byla provedena manuálním způsobem od 20. 3. do 15. 4. 1994 s ohledem na místní klimatické podmínky. Pro výsadbba bylo zvoleno jednořádkové schéma ve sponu 0,5 × 1,5 m, což odpovídá hustotě výsadby 13 333 ks/ha, která však v porostu není zcela vyrovnaná. Byly použity topolové klony Jap-104 a Jap-105 (viz

Tab. 1 Základní charakteristiky a koncentrace živin v půdě porostu Peklov

Rok odběru	Hloubka půdního vzorku	pH aktivní	Vápník mg/kg	Fosfor mg/kg	Draslík mg/kg	Hořčík mg/kg	CO <sub>x</sub> %
2001	10–20	6,94	2864	90,0	650	145	
2001	50–60	7,51	9560	2,5	156	186	
2006	5–15	6,07	1904	93	518	131	1,81
2006	50–60	6,75	3882	3,5	153	161	0,12

dále), které byly vysazeny do 2 bloků podélně přes celou délku výsadby (250 m). V květnu a červnu po výsadbě následovalo srážkově podnormální období a současně došlo k silnému nárůstu plevelů. Odplevelování bylo prováděno okopávkou v řádku a v meziřádkách herbicidem (Roundup) aplikovaným knotově. V roce 1995 byla vedle uvedeného porostu ještě vysazena směs klonů topolů o rozloze 0,3 ha, která však nebyla sklízena, ani jinak využívána, neboť její růst byl výrazně pomalejší. Porost nebyl nikdy hnojen ani zaléván.

Celková rozloha obou porostů byla po dokončení dosadby 1 ha (250 × 40 m). Porost založený v roce 1994 (0,7 ha) se přes počáteční obtíže a vyšší ztráty ujal dobře a byl v období 1994–2002 sklízen v nepravidelných obmýtích (doba mezi sklizněmi 2–5 let) v závislosti na potřebě a odbytu dřevní hmoty k energetickému využití. V porostu byly také majitelem prováděny pokusy s pěstebními postupy pro výmladkové plantáže (ošetřování, sklizně, výchovné zásahy). Část porostu byla využívána také jako matečnice pro produkci sadby. Porost založený v roce 1995 (0,3 ha) sloužil pouze k hodnocení klonů topolů a nebyl sklízen.

V zimě 2002/2003 byl produkční porost poskytnut majitelem pro výzkumné účely. Část porostu, která byla vyhodnocena jako kompaktní, byla rozčleněna na 3 stejně velké bloky označované jako A, B, C (viz tab. 3).

### 2.3 Materiál porostu

Část plantáže Peklov hodnocená v tomto pokusu byla podle původní evidence osázena 2 topolovými klony pod označením Jap-104 a Jap-105. Sadba byla dovezena z Německa, kde byla nakoupena od dnes již neexistujícího německého sdružení pro podporu obnovitelných zdrojů energie INE. Původní zdroj sadby poskytl pravděpodobně pan Zeilinger (Loryhof, Rakousko). Vysazené klony patří do skupiny vybrané při záměrných kříženích topolu černého a topolu Maximovičova (*Populus nigra* L. × *Populus maximowiczii* Henry) prováděných v 70. letech minulého století v Japonsku. Později se nejméně 5 klonů z těchto křížení rozšířilo v některých regionech mírného pásma, kde jsou pěstovány pro produkci biomasy ve výmladkových plantážích na zemědělské půdě. Místem první introdukce do Evropy byla výzkumná stanice v Hannoversch Münden v Německu. V ČR jsou dva z nich – Jap-105 a Jap-104 – nejpoužívanějšími klony výmladkových plantáží a jsou populárně označovány jako „japanu“ nebo jen „japonský topol“.

V pojmenování „japanu“ vládne nejen u nás značná nejednotnost, protože nejsou registrovány jako odrůdy ani chráněny žádnými patentovými nebo šlechtitelskými právy, tzn. nemají

žádné právně registrované označení. Zatímco u nás se evidují, příp. pěstují pod označeními J-101 až J-105 nebo Jap-101 až Jap-105, v databázi Mezinárodní topolové komise (IPC FAO, 2000) jsou jako oficiální jména klonů uváděny názvy ‘Maxein’, ‘Maxzwo’ atd., které jim byly dány v Německu v místě prvního evropského dovozu. Nejčastěji mezinárodně používané názvy jsou pak Max-1 až Max-5.

Dalším důsledkem volného šíření „japanu“ a jejich pěstování v klonových směsích jsou záměny jednotlivých klonů. Proto jsme v roce 2006 provedli analýzy DNA vybraných jedinců obou klonů z lokality Peklov za účelem jejich identifikace. Výsledky analýz ukázaly, že všichni testovaní jedinci byly shodní s klonem Max-4 (‘Maxvier’) z NWF-RS Hannoversch Münden, kde je archiv původních dovozů z Japonska (Weger, Pospíšková, 2007). V současnosti hodnotíme tedy porost v lokalitě Peklov jako porost jednoho klonu japonského (Jap-105, J-105).

### 2.4 Metodika pokusu

Pokus s hodnocením vlivu délky obmýti na růstové a výnosové parametry topolového klonu Max-4 pěstovaného výmladkovým způsobem byl založen v roce 2003 v části již existujícího produkčního porostu na lokalitě Peklov, poté co majitel poskytl porost pro výzkumné účely. Část porostu o rozloze 0,51 ha, která byla měřením růstových parametrů vyhodnocena jako relativně kompaktní, byla v březnu 2003 sklizena a rozčleněna na 3 stejně velké části označené jako Peklov A, B a C.

V následujících 6 letech byly sklizně biomasy prováděny následujícím způsobem: v bloku A každoročně, v bloku B každé tři roky a v bloku C každý šestý rok (viz tab. 3). V pokusu byly ve všech blocích vytyčeny pokusné parcelky, ve kterých bylo prováděno měření růstových parametrů (tloušťka a počet kmenů, výška jedince, procento živých jedinců) a sledován zdravotní stav. Tloušťka kmenů byla měřena digitální průměrkou (Mantax Digitech, Haglöf) s přesností na 1 mm a výška jedince měřicími latěmi s přesností na 5 cm.

Tab. 3 Základní charakteristiky bloků pokusu

Porost – blok	Rozloha (ha)	Délka obmýti (roky)	Počet sklizní za sledované období	Počet hodnocených parcelek
Peklov – A	0,17	1	6	4
Peklov – B	0,17	3	2	4
Peklov – C	0,17	6	1	3
<b>Celkem</b>	<b>0,51</b>		<b>9</b>	<b>11</b>

Tab. 2 Značení klonů topolů ze směsi tzv. japanu používaná v pěstební a odborné praxi

Označení klonů v ČR	Taxonomické zařazení	Označení IPC FAO	Jiná označení
Jap-101, J-101	<i>Populus nigra</i> L. × <i>Populus maximowiczii</i> Henry	‘Maxein’	MAX-1, OJPNM-101,
Jap-102, J-102		‘Maxzwo’	MAX-2, OJPNM-102
Jap-103, J-103		‘Maxdrei’	MAX-3, OJPNM-106
Jap-104, J-104		‘Maxfünf’	MAX-5, OJPNM-104, NM5
Jap-105, J-105		‘Maxvier’	MAX-4, OJPNM-105, NM4

Sklizně byly prováděny motorovou pilou a křovinořezem podle tloušťky kmínků. Kmeny se podřezávaly 0,1–0,3 m nad povrchem půdy dle přírodních podmínek a stavu pařezu. Sklizené kmeny z jedné pokusné parcelky byly svázané do snopků a zváženy přímo na místě dvěma digitálními váhami (max. nosnost 30 kg; přesnost  $\pm 20$  g). Hmotnost surové hmoty snopků [kg (sur.)] byla odečítána současně na obou vahách s přesností na dekagramy.

Po zvážení surové biomasy byly z každého bloku odebrány vzorky o hmotnosti 1–2 kg pro zjištění obsahu vody ve dřevě. Hmotnost vzorku čerstvé biomasy byla určena na digitální váze s přesností  $\pm 5$  g. Sušení bylo prováděno v sušičce při maximální teplotě 105 °C až do konstantní hmotnosti. Podíl sušiny v surové biomase v okamžiku sklizně [v %] byl vypočten jako podíl hmotnosti absolutně suchého vzorku a čerstvé (surové) hmotnosti vzorku.

Výnos sušiny [v kg (suš.)] z parcelky se vypočítal jako součin surové hmotnosti všech snopků a procenta sušiny ve vzorku. Hektarový výnos sušiny se z údajů polního vážení na parcelce počítal dle vzorce:

$$Y_d = (W_w * D / A_p) / N_{yr} / C$$

$Y_d$	výnos na hektar za rok v sušině [t(suš.)/ha/rok]
$W_w$	surová hmotnost živých jedinců v pokusné parcelce [kg (sur.)]
$D$	podíl sušiny v surové hmotnosti vzorku [%]
$A_p$	skutečná rozloha pokusné parcelky [m <sup>2</sup> ]
$N_{yr}$	počet roků v obmýtí [v pokusu = 1, 3, 6]
$C$	koeficient přepočtu jednotek [= 10]

Udávaný hektarový výnos v blocích pokusu byl pak vypočten jako průměr výnosů z jednotlivých parcelek bloku (3–6). Slouží především k porovnání pokusných variant (délek obmýtí) mezi sebou. Z hlediska dalšího praktického využití takto vypočteného výnosu je nutno uvést, že může být zatížen některými nepřesnostmi (přepočten z malého počtu jedinců, nahodilé vlivy atd.) a je proto možné očekávat, že se výnosy v reálných podmínkách budou odlišovat např. podle kvality pěstební péče, volby stanoviště nebo průběhu počasí.

Naměřená a vypočtená data z hodnocení byla zpracována statisticky parametrickými a neparametrickými metodami analýzy rozptylu (ANOVA, Kruskal-Wallisova analýza) s využitím programu Unistat 5.5 a Statistica 7.1.

## 3 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 3.1 Průběh počasí

Průměrná denní teplota a roční suma srážek v průběhu 6 let pokusu (2003–2008) byla  $\bar{t} = 9,1$  °C, a  $\Sigma P = 461$  mm. Teplotně bylo pokusné období nadprůměrné (cca o jeden stupeň) a srážkově spíše podprůměrné ve srovnání s charakteristikami klimatického regionu MT4. S výjimkou prvního roku byly průměrné roční srážkové a teplotní parametry poměrně srovnané. V průběhu jednotlivých vegetačních období se však vyskytovala extrémně suchá a teplá období. Srážkově podnor-

mální byla zejména jarní období roku 2003, 2005 a 2007 (viz křivka srážek v roce 2003 v grafu 1). S ohledem na skutečnost, že topoly jsou již dobře a hluboko zakořeněny, nepřepokládáme, že by tyto výkyvy i průměrné vyšší teploty měly zásadní vliv na prospívání pokusného porostu topolů.

### 3.2 Výnos biomasy

Ve sledovaném šestiletém období (9.–15. rok existence výmladkové plantáže Peklov) bylo provedeno celkem 9 sklizní a zvážení surové hmotnosti biomasy v parcelkách pro výpočet výnosu sušiny podle uvedené metodiky. V bloku A (jednoleté obmýtí) to bylo 6 sklizní, v bloku B (tříleté obmýtí) 2 sklizně a v bloku C (šestileté obmýtí) sklizeň jedna.

Průměrný roční hektarový výnos za sledované období byl 7,2 t(suš.)/ha/rok (průměr všech parcelek a roků). Při 1 letém obmýtí byl výnos 5,7 t(suš.)/ha/rok, při 3 letém obmýtí 9,2 t(suš.)/ha/rok a při 6letém obmýtí 11,7 t(suš.)/ha/rok. Statisticky průkazný je jen rozdíl mezi 1 letým obmýtím a zbývajícími dvěma bloky. Rozdíl mezi 3 a 6letým obmýtím však nebyl potvrzen relativně těsným rozdílem (MP-ANOVA, test Tukey B,  $p=0,0708$ ).

Z výsledků vyplývá, že nejvyšší výnos byl ve sledovaném období dosažen při nejdélším 6letém obmýtí. Tento výsledek je v souladu se zjištěními jiných autorů. Například Weih (2004) uvádí, že roční hmotnostní přírůst topolů vrcholí v boreálních oblastech až kolem desátého roku. V Bavorsku je doporučované obmýtí pro výmladkové plantáže tohoto klonu 5 let, kde je dosahováno optimálního výnosu (Burger, ústní sdělení). Naproti tomu v jednom z nejstarších pokusů s výmladkových pěstování topolů v německém Hannoversch Mündenu je Max-4 pěstován již 32 let v 2 letém obmýtí (Janssen, ústní sdělení).

Při optimalizaci délky obmýtí z hlediska výnosu je nutné brát v úvahu také vliv délky obmýtí na zachování pařezové výmladnosti a vhodnost pro mechanizovanou sklizeň. Willebrand et al. (1993) například jako optimální délku vrbových plantáží ve Švédsku doporučují 4–5 let a hustotu porostu 10–20 tis. ks/ha, ale v praxi se používá 3–4 roky a hustota porostu 12 tis. ks/ha.

Průměrná sušina vzorků dřeva odebraného při sklizních v Peklově byla 47%, což je hodnota téměř shodná s dlouhodobým průměrem testovaných vzorků výmladkových plantáží (1999–2009). Mezi vzorky z jednotlivých let vycházely poměrně velké rozdíly (38–57%), přičemž sklizně a odběry vzorků byly prováděny v přibližně shodném období od poloviny února do prvního týdne března. Vliv průběhu počasí na obsah vody ve vzorcích se nepodařilo prokázat.

### 3.3 Procento živých jedinců

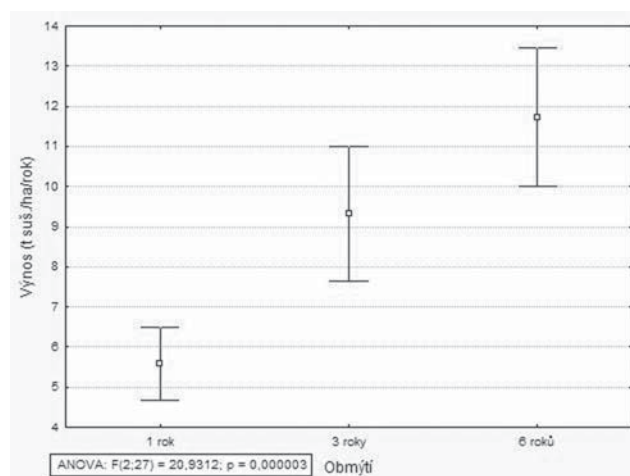
Průměrné procento živých jedinců v průběhu pokusu bylo 53% (průměr ze všech hodnocení). Tento údaj byl hodnocen jen v roce sklizně. Na pokusných parcelkách sklizených v 1 letém obmýtí (blok A) bylo průměrné procento živých jedinců 46%, při 3 letém obmýtí (blok B) to bylo 61% a při 6letém obmýtí (blok C) 49%. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn mezi počtem živých jedinců v bloku A a B (53% a 66%) před započtením pokusu. Je možné předpokládat, že tento rozdíl mohl ovlivnit výnos, resp. rozdíl ve výnosu mezi bloky A a B.



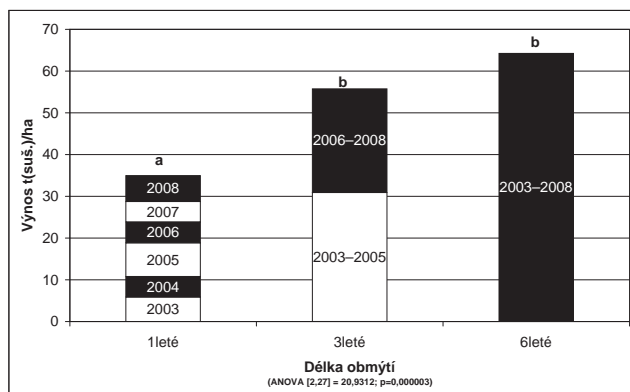
Tab. 4 Výnos a procento živých jedinců klonu Max-4 v závislosti na délce obmýtí

Rok měření Pokusné roky	Obmýtí (roky)	2003			2005			2008			Průměr za pokus		
		1.			1.–3.			4.–6.			1.–6.		
		No.	Prům.	s	No.	Prům.	s	No.	Prům.	s	No.	Prům.	s
Výnos sušiny (Yd; t suš./ha/rok)	1	4	6,1	3,1	3	5,3a	1,6	3	6,2a	1,8	21	5,6a	1,9
	3				4	10,4b	2,6	5	8,4a	1,6	9	9,3b	2,2
	6							3	11,7b	0,7	3	11,7b	0,7
Procento živých jedinců (%)	1	4	51	13	4	53	14	3	51a	17	18	45	21
	3				4	66	8	5	61a	5	9	63	6
	6							3	49a	8	3	49	8

a, b, c – statisticky průkazné rozdíly hodnot ve sloupcích (MP ANOVA, Duncanův test; Levenův test > 0,05)



Graf 3 Průměrné roční výnosy klonu Max-4 dosažené při různé délce obmýtí (interval spolehlivosti 95%)



Graf 4 Kumulovaný výnos biomasy dosažený klonem Max-4 při různé délce obmýtí v pokusném porostu na lokalitě Peklov. Statisticky průkazné rozdíly (a, b) dle ANOVA

Z výsledků je zřejmé, že ve sledovaném období se počet živých jedinců výrazně neměnil a zůstával přibližně stejný (viz tab. 4). Tato skutečnost je z hlediska dalšího vývoje porostu pozitivní. Je však nutné počkat na výsledek obrázení kmenů v roce 2009, zda se tento trend potvrdí. Pokud se v druhém roce po sklizni zapojí korunový zápoj, je možno usuzovat, že počet jedinců a jejich vitalita je dostatečná pro funkčnost a produkční schopnost výmladkové plantáže i v dalším obmýtí.

Procento přežívajících (živých) jedinců je jedním z nejdůležitějších parametrů pro hodnocení vitality výmladkových plantáží. Poměrně nízký počet živých jedinců (cca 50 % vysázených kusů) v 15 roce porostu je však možno považovat za normální. Podobné hodnoty a trendy procenta živých jedinců byly zjištěny i dalšími autory (Willebrand et al., 1993; Kopp et al., 1993, 1997).

### 3.4 Růstové parametry

Výsledky hodnocení měřených růstových parametrů v porostu ve vybraných letech jsou uvedeny v tab. 5. Z nich je zřejmé, že délka obmýtí významně ovlivňuje jednorozměrné růstové parametry – výšku jedince, tloušťku kmene a jejich počet. Oproti výnosovým parametrům (viz výše) dochází prodlužováním obmýtí ke snižování průměrného ročního přírůstu výšky, tloušťky i počtu kmenů. Nejvyšší přírůst výšky, tloušťky a počet kmenů byl dosažen při 1 letém obmýtí, resp. v prvním roce po sklizni, kdy je efekt „výmladnosti“ na starých pařezech nejvyšší.

Důvodem, proč i přesto hmotnostní přírůst rostl s delším obmýtím, je skutečnost, že kmen přirůstá po celém obvodu minulo-ročního letokruhu. Přírůst plochy příčného řezu kmene tak při delších obmýtích (3, 6 let) rostl i při klesajícím tloušťkovém přírůstu.

V případě počtu kmenů u jedince dochází s narůstajícím věkem k přirozené redukci vedlejších kmenů (růstových vrcholů) konkurencí s hlavními kmeny. Hlavní kmeny potom využívají uvolněný prostor k zvýšení svého přírůstu.

Z hlediska praxe jsou důležité také maximální hodnoty tloušťky kmene na pařezu v roce sklizně. Výška pařezu je obvykle 0,1–0,3 m nad povrchem podle použité technologie a stavu pařezu. Tloušťku kmene ve výšce 0,3 m je možné pro klon Max-4 vypočítat z tloušťky měřené v jednom metru ( $d_{1,0}$ ) pomocí vzorce  $d_{0,3} = (d_{1,0} + 1,4336) / 0,8557$ , kterou jsme odvodili v dřívějších měřeních. Použitím vzorce bylo zjištěno, že při 6letém obmýtí měly 2 % kmenů „na pařezu“ tloušťku větší než 150 mm a 13 % kmenů nad 100 mm. Například nejpoužívanější harvester Claas Jaguar může sklízet kmeny do maximální tloušťky 70–150 mm v závislosti na výkonové řadě a použitým podřezávacím zařízením.

Tab. 5 Hlavní růstové parametry klonu Max-4 v závislosti na délce obmýení

Rok měření	Obmýení (roky)	Hodnoty ve vybraných sklizňových letech									Roční průměr (přírůst)	
		2003			2005			2008			za celé období	
		1.			1.–3.			4.–6.			1.–6.	
Pokusné roky	No.	Prům.	s	No.	Prům.	s	No.	Prům.	s	Prům.		
Výška jedince (V; m)	1	28	3,54	1,17	21	3,2A	0,36	17	3,74A	0,59	1,75	m/rok
	3				31	6,2B	1,74	22	6,16B	1,38	1,03	
	6				31	7,7C	2,32	26	9,91C	2,42	0,83	
Tloušťka kmene (d <sub>1,0</sub> ; mm)	1	28	9,1	7,6	270	9,8A	5,0	248	9,9A	5,4	4,8	m/rok
	3				145	28,1B	18,7	121	21,1B	15,4	4,1	
	6				75	39,4C	23,3	92	42,2C	31,3	3,5	
Počet kmenů (K; ks)	1	28	11,8	4,7	21	12,9A	8,5	17	14,6A	17,1	13,1	m/rok
	3				31	4,7B	4,2	22	5,5B	2,9	5,1	
	6				31	2,4C	1,7	26	3,6C	1,7	3,0	

A, B, C statisticky průkazné rozdíly hodnot ve sloupcích (Kruskal-Wallisova analýza)

#### 4 ZÁVĚRY

Na základě výsledků hodnocení růstových a výnosových parametrů topolového klonu Max-4 (J-105) při pěstování výmladkovým způsobem v 1, 3 a 6letém obmýení ve výmladkové plantáži v lokalitě Peklov je možné vyslovit následující závěry:

1. Výnos rostl s délkou obmýení. Nejvyšší výnos byl dosažen při nejdelším 6letém obmýení, a to 11,3 t(suš.)/ha/rok. Při 1 letém obmýení byl výnos 5,7 t(suš.)/ha/rok a při 3 letém obmýení 9,2 t(suš.)/ha/rok. Statisticky prokazatelně odlišný byl výnos v 1 letém obmýení oproti 3 letému a 6letému obmýení.
2. Průměrné roční přírůstky růstových parametrů s délkou obmýení klesaly (tzn. přírůst výšky jedince, průměru kmene a počet kmenů).
3. Procento živých jedinců se v 15. roce existence porostu pohybovalo v rozsahu 49–61 %, který je možno považovat za přiměřený a neovlivňující funkčnost porostu. Ve sledovaném 6letém období se v počet živých jedinců výrazně neměnil a zůstával přibližně stejný.
4. Celkovou vitalitu nejstarší české výmladkové plantáže na lokalitě Peklov je po 15 letech růstu možno hodnotit jako dobrou a bez ohledu na počet provedených sklizní (5–10×). Předpokládáme pokračování pokusu v dalších letech.
5. Pro pěstební praxi výmladkových plantáží japonů (klonu Max-4) je možno doporučit 5–6letou délku obmýení jako výhodnější z hlediska výnosu oproti 3 letému obmýení. Současně je však nutno vzít v úvahu, že při něm kmeny na pařezu dorůstají tloušťky na horní hranici pro zemědělské sklízecí stroje. Maximální tloušťka kmene pro současné jednofázové sklizňové technologie výmladkových plantáží topolů se uvádí 150 mm. Na příznivějších lokalitách nebo při intenzivnějším pěstování (hnojení, odplevelování) budou kmeny dosahovat této tloušťky rychleji a dříve. V případě vypěstování kmenů větších průměrů je nutno použít víceřádkovou sklizeň s lesnickými technologiemi.

#### Poděkování

Tyto výsledky byly získány a zpracovány s finančním příspěvním výzkumného projektu MŠMT 2B06131. Autor děkuje kolegům P. Vlasákovi, A. Tobyškoví, I. Rudišové a K. Havlíčkové za pomoc při sběru dat a dále V. Novotnému (†) a pí. Breníkové z HD Unhošť za poskytnutí porostu topolů pro výzkumné účely.

#### LITERATURA

- Hyttönen, J., Issakainen, J. (2001): Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of *Betula pubescent*. Biomass and Bioenergy, vol. 20, no. 4, p. 237–245.
- IPC FAO (2000): Directory of poplar and willow experts. Register of *Populus* L. cultivars. Databases FAO. Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, Casale Monferrato, Italy.
- Kopp, R. F., Abrahamson, L. P., White, E. H., Nowak, C. A., Zsuffa, L., Burns, K. F. (1993): Woodgrass spacing and fertilization effects on a willow clone. Biomass and Bioenergy, vol. 11, no. 6, p. 451–457.
- Kopp, R. F., Abrahamson, L. P., White, E. H., Burns, K. F., Nowak, C. A. (1997): Cutting cycle and spacing effects on biomass production by a willow clone in New York. Biomass and Bioenergy, vol. 12, no. 5, p. 313–319.
- Vlasák, P., Weger, J. (2007): Growth parameters analysis of fast-growing trees grown in short rotation for production of biomass energy. In Strom a květina – součást života, Průhonice, VÚKOZ, v.v.vi., s. 147–150.
- Weger, J., Havlíčková, K. (2002): The first results of the selection of woody species for short rotation coppices in the transitional oceanic-continental climate of the Czech Republic. Twelfth European Conference Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, ETA Florence, p. 107–110.



Obr. 1 Sklizeň biomasy v pokusném porostu v únoru 2009, zleva blok A, blok B a blok C

Weger, J., Havlíčková, K., Vlasák, P. (2004): Výzkum produkčních charakteristik taxonů dřevin příp.bylin vhodných pro cílenou produkci biomasy v různých půdně klimatických podmínkách ČR. [Závěrečná výzk. zpráva záměru 0241/2003; depon. In knih. VÚKOZ, Průhonice].

Weger, J., Vlasák, P., Zánová, I., Havlíčková, K. (2006): The results of the evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) in second harvesting period in conditions of the Czech Republic, 15<sup>th</sup> European Conference Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Paris, ETA Florence.

Weger, J., Pospíšková, M. (2007): DNA identification of poplar clones grown for production of energy biomass on an example of hybrid poplar *Populus nigra* L. × *Populus maximowiczii* Leb. In *Strom a květina – součást života*, Průhonice, VÚKOZ, v.v.vi., s. 155–158.

Weger, J., Havlíčková, K. (2007): Rámcová typologie zemědělských půd pro výmladkové plantáže RRD. *Lesnická práce*, roč. 86, č. 4, s. 32–33.

Weih, M. (2004): Intensive short rotation forestry in boreal climates: present and future perspectives. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 34, no. 7, p. 1369–1378.

Willebrand, E., Ledin, S., Verwijst, T. (1993): Willow coppice systems in short rotation forestry: Effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass and Bioenergy*, vol. 4, no. 5, p. 323–331.

*Rukopis doručen: 27. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 31. 8. 2009*



# ROZBOR VÝNOSOVÉHO POTENCIÁLU TOPOLU ČERNÉHO V PRŮBĚHU TŘÍ SKLIZNÍ PŘI RŮZNÉM SPONU ROSTLIN

## YIELD POTENTIAL ANALYSIS OF BLACK POPLAR IN THE COURSE OF THREE COPPICE ROTATIONS AT TWO DIFFERENT PLANT SPACINGS

Vojtěch Benetka, Petra Pilařová, Kateřina Kozlíková

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, benetka@vukoz.cz, pilarova@vukoz.cz, kozlikova@vukoz.cz

### Abstrakt

S 5 klony topolu černého a hybridním klonem NE-42 byl založen pokus na lokalitě Smilkov (SM) a Bystřice (BY) v méně příznivých podmínkách a v Rosicích (RO), které se nachází v optimálních podmínkách pro topol. Ve SM a BY byly rostliny vysazeny v počtu 2 222 ks.ha<sup>-1</sup> a v RO 7 810 ks.ha<sup>-1</sup>. Ve SM a BY byl porost sklizen po 3, 4 a 3 letech a v RO po 3, 2 a 3 letech. Při I. sklizni hmotnost sušiny z jednotky plochy byla nejvyšší v RO (5,5–9,4 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) v místě s nejvyšším počtem rostlin. Také průměrná hmotnost rostliny byla nejvyšší v RO (1,2 kg.rostlina<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Při II. sklizni byl výnos z plochy nejvyšší v RO (10,8–18,3 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) a hmotnost jedné rostliny byla největší ve SM (3–4,2 kg.rostlina<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Při III. sklizni byla nejvyšší sklizeň z jednotky plochy v RO (11,4–26,1 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>), ale hmotnost jedné rostliny zde byla nejnižší. Dílčí znaky jako počet výhonů na rostlinu a tloušťka hlavního výhonu, které jsou v korelaci s výnosem sušiny, měly při II. a III. sklizni nižší hodnoty v RO než ve SM a BY. Došlo se k závěru, že hustší spon snižuje hodnotu těchto znaků, a tím i průměrnou hmotnost jedné rostliny. Celkové výnosy biomasy jsou srovnatelné s údaji uváděnými v literatuře, které pocházejí z hustších sponů.

**Klíčová slova:** *Populus nigra*, kultura s krátkou dobou obmýtití, hustota porostu, výnos biomasy

### Abstract

A field trial with five clones of *P. nigra* and one clone NE-42 (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) was established in Smilkov (SM), Bystřice (BY) and Rosice (RO). SM and BY are less suitable for growing poplar whereas in RO there are optimal conditions. Planting density is 2,200 plant.ha<sup>-1</sup> (SM, BY) and 7,810 plant.ha<sup>-1</sup> (RO). Harvests were carried out after 3, 4, and 3 years in a 10-yr crop (SM, BY) and 3, 2 and 3 years in an 8-yr crop (RO). In the 1<sup>st</sup> rotation, the highest dry matter yield per ha was found out in RO (4–6.8 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) where number of plants is higher. The highest dry matter weight per plant was also in RO (1.2 kg plant<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>). In the 2<sup>nd</sup> rotation, the highest yield per ha was in RO (10.8–18.3 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and weight per plant in SM (3–4.2 kg plant<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>). In the 3<sup>rd</sup> rotation, the highest yield per ha was found out in RO (11.4–26.1 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) but the weight per plant was the lowest there. Traits as number of shoots per plant and diameter of leading shoot, which correlate with dry matter yield, had lower values in RO than in SM and BY in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> rotation. Therefore we conclude that the denser spacing decreases values of these traits and so weight of dry matter per plant.

**Keywords:** *Populus nigra*, biomass production, short coppice culture, planting density, plant weight, number of shoots, diameter

## 1 ÚVOD

Porosty rychle rostoucích dřevin (RRD) jsou dlouhodobé kultury a jejich úspěšnost a rentabilita závisí na počtu sklizní (obmýtití) (Benetka et al., 2008). V literatuře uváděné výnosy a sklizně jsou často z několika málo za sebou jdoucích a i z toho je patrné, že mnohdy již druhá až třetí sklizeň vede ke snížení výnosu (Laureysens et al., 2005; Aylott et al., 2008), proto nás nutně zajímá výhled výnosů sledovaných klonů v závislosti na podmínkách pěstování. Vedle půdních a klimatických podmínek jsou to pěstitelské postupy a z nich se zdá, že je to především spon, ve kterém se rostliny vysazují. Se sponem rostlin souvisí jejich zdravotní stav, zvláště u klonů topolu černého je to vysoká náročnost na světlo a náchylnost ke rzi *Melampsora larici-populina*.

V řadě prací bylo prokázáno, že se zvyšujícím počtem rostlin se zvyšuje výnos sušiny z plochy (Armstrong et al., 1999; Fang et al., 1999). Avšak tato závislost má své limity. V jiných pracích se uvádí, jak se původní počty rostlin po první či druhé sklizni snižují na počty mnohem nižší (Laureysens et al.,

2003; Vande Walle et al., 2007). Ztráty se uvádějí jako geneticky podmíněné, tj. jsou rozdíly mezi klony. Příčinou může být různá citlivost k chorobám a nároky na světlo.

U topolu černého se uvádí jeho vyšší odnožovací schopnost (Laureysens et al., 2005; Benetka et al., 2007; Al Afas et al., 2008), která je ovlivněna prostředím, tj. sponem. Ve větším sponu může topol černý zaplnit volný prostor a tak realizovat výnos větším počtem výhonů. Kromě toho mu lépe vyhovuje více světla, které mu poskytuje řídký spon.

V podmínkách České republiky při zakládání porostů RRD náklady na sadbu (dřevité řízky) při obvyklé hustotě výsadby (10 000 ks.ha<sup>-1</sup>) představují asi 20 % z celkových nákladů (Havlíčková a Knápek, 2008). Podobně i v Itálii se uvádějí náklady na založení výsadby s hustotou 6 700 ks.ha<sup>-1</sup> ve výši 17,2 % celkových nákladů (Manzone et al., 2009).

Cílem bylo pokusit se porovnat porosty se dvěma odlišnými spony a posoudit vliv hustoty porostu na výnosové ukazatele u topolu.

## 2 MATERIÁL A METODA

### Lokalita a organizace porostů

Pokus byl založen na 3 lokalitách s odlišným stupněm obhospodařování, různou kvalitou půd a klimatickými podmínkami (Vrátný et al., 2007). První porost byl založen v roce 1998 ve Smilkově (SM), který je situován v mírně teplé a vlhké klimatické oblasti. Druhý porost byl založen také v roce 1998, v Bystřici (BY), která se nachází v mírně chladné, a vlhké klimatické oblasti. Poslední porost byl založen v Rosicích (RO) v roce 2002. Plocha je situována v teplé oblasti, mírně suché s mírnou zimou.

Pokus byl založen s jednoletými sazenicemi získanými z řízkování z předchozího roku. Rostliny byly vysazeny ve sponu 1,5 × 3 m (SM, BY) metodou znáhodněných bloků ve čtyřech opakováních po 4 (BY) nebo 5 rostlinách (SM), po vysazení byly sazenice seříznuty ve výšce 0,4 m. Kultivace během vegetace spočívala v sežínání plevelů podle potřeby. V únoru 2001 byl tříletý porost prvně seříznut ručně ve výši asi 10 cm. Druhá sklizeň se uskutečnila v březnu 2005, třetí v předjaří 2008 stejným způsobem jako první sklizeň.

V RO byl pokus založen až na jaře 2002 a vysázeno bylo pouze 6 klonů, které se zdály po prvních pozorováních jako nejúspěšnější. Pokus byl vysázen ve sponu 0,65 × 2 m v 5 opakováních po 6 rostlinách. První sklizeň proběhla v březnu 2005 a druhá v březnu 2007. Předběžný odhad třetí sklizně plánované na začátek roku 2010 byl určen ze změřených průměrů výhonů ve výšce 50 cm a výšky (tyto hodnoty byly měřeny v polovině července) dle vztahu ( $V_i = D_{50}^2 \times H$  (Scarascia-Mugnozza et al., 1997), kde  $V_i$  je objemový index.

### Materiál

Do polních pokusů byly zahrnuty klony topolu černého (*P. nigra*), které jsou potomky jedinců z místních subpopulací, a hybridní klon NE – 42 jako kontrola (Benetka et al., 2002).

### Měření a vyhodnocení

Před sklizní byl měřen průměr hlavního výhonu ve výšce 50 cm ( $D_{50}$ ) a stanoven počet výhonů. Sklizeň a stanovení sušiny bylo provedeno podle postupu popsaného Benetkou et al. (2007).

Získaná data byla statisticky vyhodnocena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) a následně testována pomocí Duncanova testu. K statistickému vyhodnocení byl použit software Statistica 7 (StatSoft Inc., Tulsa, OK).

## 3 VÝSLEDKY

### Celkový výnos biomasy

Výnos biomasy byl sledován u vybraných klonů topolu černého na třech klimaticky a půdně odlišných stanovištích. Na stanovišti SM a BY probíhaly pokusy současně, v RO byl pokus založen později a doba obmýtí se lišila od prvních dvou stanovišť.

Podle předpokladu byl nejnižší výnos sušiny biomasy při I. sklizni na nejméně příznivém stanovišti v BY (tab. 1). Na druhém místě byl výnos ve SM a nejvyšší byl výnos v RO. Stanoviště v RO je svými podmínkami optimální pro růst topolu černého. Tento trend se opakuje i při II. a III. sklizni. Zatímco v BY nejvyšší výnos sušiny při I. sklizni byl 0,8 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (u klonu 210), při II. sklizni 4,6 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (u klonu 202) a při III. sklizni 7,6 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (u klonu 202), ve SM byl nejvyšší výnos zaznamenán při jednotlivých sklizních 1,3; 7,9 a 10,1 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (postupně u klonů 210, 301 a 107). V RO již při I. sklizni nejlepší klon topolu černého (113) měl výnos sušiny 9,4 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a při II. sklizni klon 210 měl výnos 12,6 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>. Přitom II. sklizeň v RO se uskutečnila již po 2 letech.

Kontrolní hybridní klon NE-42 měl vyšší výnos sušiny při prvních dvou sklizních na lokalitě BY, kde bylo více podzemní vody a při III. sklizni byl vyšší výnos sušiny ve SM (11,4 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) než v BY (9,4 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). V RO při I. sklizni byl výnos sušiny několikrát vyšší proti lokalitám BY a SM. Podobně i při II. sklizni byl vyšší (18,3 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) proti výnosu v BY (9,8 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Pro porovnání výnos nejúspěšnějšího hybridního klonu MAX 4 v RO byl při první sklizni 14,3 a při druhé 20,6 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>.

### Průměrná hmotnost sušiny na rostlinu

Vzhledem k tomu, že pokusy byly založeny s různou hustotou výsadby (2 222 a 7 810 rostlin.ha<sup>-1</sup>), byl výnos sušiny přepočten na jednu rostlinu a jeden rok. Průměrná hmotnost sušiny jedné rostliny za rok v kg je uvedena v tab. 2.

Tab. 1 Výnos biomasy v sušině [t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>] u vybraných klonů topolu černého a hybridního klonu NE-42

Lokalita	BY			SM			RO		
	2001	2005	2008	2001	2005	2008	2005	2007	2010*
Klon									
107	0,2 b	2,2 b	7,2 ab	1,2 ab	6,7 b	10,1 a	7,3 b	11,3 b	20,1
113	0,6 b	3,8 b	4,3 ab	-	-	-	9,4 ab	10,8 b	11,4
202	-	4,6 b	7,6 ab	-	6,7 b	9,4 a	-	-	-
210	0,8 a	2,2 b	4,0 ab	1,3 ab	7,3 ab	8,0 b	8,4 b	12,6 b	19,1
301	0,4 b	3,4 b	5,8 ab	0,9 ab	7,9 ab	10,0 a	5,5 b	10,9 b	13,7
NE-42	1,4 a	9,8 a	9,4 a	1,1 ab	9,4 a	11,4 a	9,1 ab	18,3 a	26,1
Doba obmýtí	3	4	3	3	4	3	3	2	3

\*dle odhadu

Při I. sklizni nejnižší hmotnost měly rostliny v BY (0,09–0,63 kg) a nejvyšší v RO (0,7–1,2 kg). Avšak již při II. sklizni nejvyšší průměrné hmotnosti měly rostliny ve SM (více jak 3 kg). Nejlepší klon topolu černého (klon 301) měl hmotnost 3,55 kg a hybridní klon NE-42 4,23 kg. Při III. sklizni byly nejvyšší průměrné hmotnosti naměřeny opět ve SM od 3,6 po 5,13 kg. Mezi nejlepší patřily klony 107, 301 a NE-42. Nejnižší průměrné hmotnosti byly zjištěny v RO (1,46–3,34 kg).

### Počet výhonů před sklizní

Tento znak byl hodnocen během tří sklizní na třech lokalitách (tab. 3). Neúplné jsou údaje z I. sklizně (chybí za lokalitu RO). Naopak jsou uvedeny hodnoty z plánované třetí sklizně v RO, která se uskuteční na počátku roku 2010.

I u tohoto znaku při II. sklizni nejvyšší hodnoty byly naměřeny u klonů z lokality SM. Naproti tomu počet výhonů v Rosicích v průměru dosahoval pouze 40% počtu ve SM. Podobně i při třetí sklizni byl vyšší počet výhonů na rostlinu u klonů rostoucích ve SM proti rostlinám rostoucím v RO.

### Tloušťka hlavního výhonu

U tohoto znaku jsou k dispozici pouze hodnocení z I. a II. sklizně (v RO ze III. sklizně) (tab. 4). Opět i zde při I. sklizni největší tloušťku dosáhly klony v RO (46,4–57,5 mm), zatímco na lokalitě SM a BY hodnoty tohoto znaku se pohybovaly od 22 do 39 mm u klonů topolu černého a u klonu NE-42 v BY dosáhl 45 mm. Při II. sklizni tloušťka hlavního výhonu byla u klonů topolu černého ve SM od 64,9 do 74,8 mm. V BY se pohybovala od 47,8 do 61,3 mm. V RO při druhém měření, kde klony rovněž rostly 3 roky, se tloušťka hlavního výhonu pohybovala pouze v rozmezí od 40,0 do 51,1 mm. V případě klonu NE-42 byly rozdíly ještě větší, kdy v BY a SM byla tloušťka hlavního výhonu nad 80 mm a v RO 54,1 mm.

## 4 DISKUZE

V této práci byla analyzována výkonnost několika klonů topolu černého spolu s hybridním klonem NE-42. Tyto klony byly pěstovány ve třech odlišných klimatických a půdních

Tab. 2 Hmotnost sušiny [kg.rostlina<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>] pro jednotlivá obmýtlí

klon	I.			II.			III.		
	BY	SM	RO	BY	SM	RO	BY	SM	RO
107	0,09	0,54	0,93	0,99	3,01	1,45	3,24	4,55	2,57
113	0,27	-	1,2	1,73	-	1,38	1,95	-	1,46
202	-	-	-	2,09	3,05	-	3,45	4,27	-
210	0,36	0,56	1,07	0,99	3,28	1,61	1,8	3,6	2,44
301	0,18	0,42	0,7	1,53	3,55	1,39	2,61	4,5	1,75
NE-42	0,63	0,48	1,17	4,41	4,23	2,34	4,23	5,13	3,34

Tab. 3 Počet výhonů před sklizní

Lokalita	BY			SM			RO		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Klon									
107	3,0	2,9	10,0	4,5	10,8	18,2	-	4,5	5,4
113	4,3	4,0	7,5	-	-	-	-	6,5	7,8
202	4,6	10,0	13,0	4,5	12,8	17,8	-	-	-
210	4,4	6,3	11,0	4,8	12,4	19,5	-	6,8	6,8
301	4,5	6,7	11,0	3,6	14,2	24,2	-	6,7	8,8
NE-42	3,2	4,7	8,0	3,8	9,3	8,6	-	3,4	5,0

Tab. 4 Průměr hlavního výhonu v 50 cm

Lokalita	BY		SM		RO	
	2001	2005	2001	2005	2004	2009
Klon						
107	22,0	60,6	38,0	74,8	51,9	51,1
113	33,0	56,3	-	-	39,4	44,2
202	-	61,3	27,6	64,9	-	-
210	34,0	47,8	39,0	68,4	57,5	40,4
301	24,0	55,7	34,0	68,4	46,4	40,0
NE-42	45,0	88,5	36,0	85,9	53,7	54,1

podmínkách a při různých sponech. Lokalita SM, která se nachází v bramborářském výrobním typu, představuje oblast, ve které lze předpokládat nejčastější pěstování RRD. Kontrolní klon NE-42 byl zvolen pro jeho přizpůsobivost k horším půdním a klimatickým podmínkám (Mottl a Dušek, 1991). Neobvykle řídký spon (2 222 rostlin.ha<sup>-1</sup>) byl zvolen s ohledem na vyšší požadavky topolu černého na světlo (Mottl a Dušek, 1991) a nedostatek jakýchkoliv zkušeností s pěstováním tohoto druhu v kultuře s krátkou dobou obmýtí. Na lokalitě v RO, kde byl pokus založen v optimálních půdních a klimatických podmínkách, byl zvolen hustší spon (7 810 rostlin.ha<sup>-1</sup>) a pokus byl sklizen při odlišné době obmýtí.

Při první sklizni u výnosu sušiny byly velké rozdíly mezi méně příznivými lokalitami (BY, SM) a lokalitou z optimálních podmínek (RO), a to jak ve výnose z jednotky plochy, tak v hmotnosti jedné rostliny.

Při druhé sklizni nejvyšší hmotnost sušiny z jednotky plochy byla opět v RO, jak u klonů topolu černého, tak u klonu NE-42. Ale průměrná hmotnost rostliny za rok byla již vyšší u daného klonu na lokalitě SM, případně i na lokalitě BY (u klonu NE-42). Mohlo by se namítnout, že v RO byly rostliny při sklizni pouze dvouleté, proti čtyřletým ve SM a BY.

Třetí sklizeň na lokalitě RO byla odhadnuta na základě výšky a tloušťky výhonů a jejich počtu. Tak bylo možné porovnat hmotnost sušiny tříletých porostů mezi lokalitami BY, SM a RO. Hmotnost sušiny z jednotky plochy byla opět nejvyšší v RO. Hmotnost sušiny jedné rostliny za rok byla však v RO nejnižší. Znamená to, že vyšší výnos z jednotky plochy byl dosažen díky vyšší hustotě rostlin.

Celkový výnos je tvořen dílčími znaky, jako je výška výhonů, tloušťka výhonů a počet výhonů (Pontailler et al., 1997; Scarascia-Mugnozza et al., 1997; Rae et al., 2004). Vysoká korelace mezi počtem výhonů a výnosem sušiny (Benetka et al., 2007; Rae et al., 2009) dokazuje významnost tohoto znaku pro výsledný výnos. Zároveň jde o znak silně ovlivňovaný prostředím (Rae et al., 2009), v našem případě sponem rostlin.

Při druhé a třetí sklizni byl počet výhonů vyšší u klonů topolu černého než u klonu NE-42. Tyto rozdíly byly vyšší na lokalitách SM a BY, menší v RO, což souvisí s hustším sponem na posledně jmenované lokalitě.

Rovněž tloušťka hlavního výhonu je ve vysoké korelaci s výnosem sušiny (Benetka et al., 2007; Rae et al., 2009). Jak se v předložené práci ukázalo, je i tento znak ovlivněn hustotou porostu. Vlivem vyšší hustoty došlo ke zmenšení tloušťky hlavního výhonu, a to i v případě, že se počet výhonů snížil.

Z uvedených výsledků vyplývá, že průměrná hmotnost jedné rostliny a počet rostlin na jednotku plochy jsou v nepřímé úměře. Na druhou stranu zvyšující počet rostlin do určité míry zvyšuje výnos na jednotku plochy. Porovnáme-li námi dosažené výnosy u klonů topolu černého, ale i u NE-42, a srovnáme-li je s výnosy jiných autorů (Weger a Havlíčková, 2009) dosaženými při vyšší hustotě porostů a z většího počtu pokusů, pak rozdíly nejsou příliš velké. Zatímco v našich pokusech u NE-42 byly výnosy u druhé sklizně 9,4; 9,8 a 18,3 t.ha<sup>-1</sup> a při třetí sklizni 11,4 a 26,1 (odhad) t.ha<sup>-1</sup>, pak při vysoké hustotě sponu byl průměrný výnos u topolu pod 10 t.ha<sup>-1</sup>. V mnoha dalších pracích (přehled Vande Walle et

al., 2007), kde výsledky jsou z podmínek obtížně srovnatelných s našimi, maximální výnosy dosahovaly 13,6 t.ha<sup>-1</sup> při počtu 10 tis. rostlin.ha<sup>-1</sup>. Většinou se však výnosy pohybovaly pod 10 t.ha<sup>-1</sup>.

## 5 ZÁVĚRY

1. Vyšší počet rostlin na plochu zvyšuje plošný výnos sušiny, především při prvních sklizních.
2. Vyšší hustota sponu snižuje hmotnost jedné rostliny v důsledku menšího počtu výhonů a menší tloušťky hlavního výhonu.
3. Vyšší hustota porostu snižuje u topolu černého schopnost vyšší tvorby výhonů.
4. Nadměrně vysoké počty rostliny na plochu pravděpodobně nepřinášejí vyšší výnos od druhé až třetí sklizně.
5. Vysoký počet řízků na založení porostu zvyšuje náklady.

## Poděkování

Výsledky prezentované v tomto článku byly získány za finanční podpory projektu „MŠMT 2B06131“.

## LITERATURA

- Al Afas, N., Marron, N., Van Dongen, S., Laureysens, I., Ceulemans, R. (2008): Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management*, vol. 255, no. 5–6, p. 1883–1891.
- Armstrong, A., Johns, C., Tubby, I. (1999): Effect of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. *Biomass and Bioenergy*, vol. 17, no. 4, p. 305–314.
- Aylott, M. J., Casella, E., Tubby, I., Street, N. R., Smith, P., Taylor, G. (2008): Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist*, vol. 178, p. 358–370.
- Benetka, V., Bartáková, I., Mottl, J. (2002): Productivity of *Populus nigra* L. ssp. *nigra* under short-rotation culture in marginal areas. *Biomass and Bioenergy*, vol. 23, no. 5, p. 327–336.
- Benetka, V., Kozlíková, K., Pilařová, P. (2008): Srovnání energetické produkce výmladkové kultury topolu s jednoletými plodinami v bramborářské výrobní oblasti. *Acta Pruhoniana*, č. 89, s. 79–82.
- Benetka, V., Vrátný, F., Šálková, I. (2007): Comparison of the productivity of *Populus nigra* L. with an interspecific hybrid in a short rotation coppice in marginal areas. *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 6, p. 367–374.
- Fang, S., Xu, X., Lu, S., Tang, L. (1999): Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for tree clones at four spacings. *Biomass and Bioenergy*, vol. 17, no. 5, p. 415–425.



- Havlíčková, K., Knápek, J. (2008): Ekonomické aspekty porostů rychle rostoucích dřevin. *Acta Pruhoniciana*, č. 89, s. 35–39.
- Laureysens, I., Deraedt, W., Indeherberge, T., Ceulemans, R. (2003): Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy*, vol. 24, no. 2, p. 81–95.
- Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J., Ceulemans, R. (2005): Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy*, vol. 29, no. 1, p. 10–21.
- Manzone, M., Airoldi, G., Balsari, P. (2009): Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, no. 9, p. 1258–1264.
- Mottl, J., Dušek, J. (1991): Vymezení pěstebních oblastí topolů pro sadovnické a krajinářské účely. Závěrečná zpráva, in knihovna VÚKOZ Průhonice, 140 s.
- Pontailleur, J. Y., Ceulemans, R., Guittet, J. (1997): Linear and non-linear functions of volume index to estimate woody biomass in high density young poplar stands. *Annals of Forest Science*, vol. 54, p. 335–345.
- Rae, A. M., Robinson, K. M., Street, N. R., Taylor, G. (2004): Morphological and physiological traits influencing biomass productivity in short-rotation coppice poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 34, no. 7, p. 1488–1498.
- Rae, A. M., Street, N. R., Robinson, K. M., Harris, N., Taylor, G. (2009): Five QTL hotspots for yield in short rotation coppice bioenergy poplar: The Poplar Biomass Loci. *BMC Plant Biology*, vol. 9, no. 23, doi:10.1186/1471-2229-9-23.
- Scarascia-Mugnozza, G. E., Ceulemans, R., Heilman, P. E., Isebrands, J. G., Stettler, R. F., Hinckley, T. M. (1997): Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 27, p. 372–377.
- Vande Walle, I., Van Camp, N., Van de Castele, L., Verheyen, K., Lemeur, R. (2007): Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I—Biomass production after 4 years of tree growth. *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 5, p. 267–275.
- Vrátný, F., Benetka, V., Hyhlíková, M. (2007): Porovnání topolu černého s hybridními topoly z hlediska výnosových parametrů pro oblasti se zvláštním režimem pěstování (zákon 114/92 Sb.). In *Strom a květina – součást života (The Tree and Flower – a Part of Life)*, Průhonice, VÚKOZ, v.v.i., s. 151–154.
- Weger, J., Havlíčková, K. (2009): The evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) after three harvests. *Proceeding of the 17<sup>th</sup> European*

*Rukopis doručen: 15. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 31. 8. 2009*



# MOŽNOSTI GENETICKÉ IDENTIFIKACE KLONŮ A KŘÍŽENCŮ TOPOLU SIMONOVA, ČERNÉHO, BAVLNÍKOVÉHO A MAXIMOVÍČOVA (*POPULUS SIMONII*, *P. NIGRA*, *P. DELTOIDES*, *P. MAXIMOWICZII*) METODOU SIMPLE SEQUENCE REPEAT

## POSSIBILITY OF GENETIC IDENTIFICATION OF SIMON POPLAR, BLACK POPLAR, COTTONWOOD AND JAPANESE POPLAR (*POPULUS SIMONII*, *P. NIGRA*, *P. DELTOIDES*, *P. MAXIMOWICZII*) CLONES AND HYBRIDS USING SIMPLE SEQUENCE REPEAT MARKERS

Miroslava Lukášová, Jan Weger

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, lukasova@vukoz.cz, weger@vukoz.cz

### Abstrakt

Topol je rychle rostoucí víceúčelová dřevina, jejichž několik druhů je pěstováno v intenzivních produkčních plantážích. Morfologické znaky nejsou vždy dostatečným hodnotícím kritériem pro rozlišení klonů a odrůd. Přesná identifikace je však zároveň nezbytná pro udržování klonových archivů a matečnic, kontrolu a ochranu odrůd, efektivní selekci a management genových zdrojů. Předkládáme studii, ve které jsme ověřili metodu spolehlivé klasifikace klonů na základě genetických znaků. Pro multilokusovou genetickou diferenciaci bylo použito šest jaderných mikrosatelitových DNA markerů, popsanych dříve pro druh *Populus nigra*. Ve skupině 23 klonů druhů a kříženců *P. simonii*, *P. nigra*, *P. deltoides* a *P. maximowiczii* bylo nalezeno 17 unikátních genotypů. Klony byly rozčleněny do skupin podle jejich genetické podobnosti a byly odhaleny duplikáty. Použitá sada SSR markerů může být na základě své vypovídací schopnosti používána pro genetický fingerprinting uvedených druhů topolů. Byla také potvrzena nízká variabilita genofondu *P. simonii* v analyzovaných výsadbách městské zeleně.

**Klíčová slova:** *Populus*, SSR (simple sequence repeat), identifikace klonů, fingerprinting

### Abstract

Poplar, which is fast-growing multipurpose tree, is used for short rotation intensive plantations and agro-forestry. Morphological traits aren't sufficient to distinguish precisely between different clones and cultivars. However, the accurate identification of clones is essential for upkeep of genetic collections and mother stocks, varietal control and protection, effective selection and genetic resource management. We present a method for reliable classification of clones based on genetic features. Six nuclear microsatellite DNA markers described originally for *Populus nigra* were used for multi-locus genetic differentiation of 23 clones belonging to species and hybrids of *P. simonii*, *P. nigra*, *P. deltoides* and *P. maximowiczii*. Seventeen unique genotypes were found. Clones were separated to groups according their genetic similarities and duplicates were detected. Such set of SSR markers can be utilized for genetic fingerprinting of mentioned poplar species. A low genetic variability was confirmed of *P. simonii* assortment in analyzed urban plantings.

**Keywords:** *Populus*, simple sequence repeat, clonal identification, fingerprinting

## 1 ÚVOD

Topol je rychle rostoucí dřevina, kterou lze hospodářsky využívat k mnoha účelům a topolové dřevo je v některých regionech významným ekonomickým artiklem (FAO, 1979, 2008). Celosvětová rozloha topolových a vrbových porostů se odhaduje na více než 79 milionů ha. Z toho přes 8 mil. ha jsou intenzivní převážně vysokokmenné topolové a vrbové plantáže – tzv. lignikultury a silvikultury (FAO, 2008). Mnoho druhů topolu a jejich kříženců lze s úspěchem intenzivně pěstovat na energetické účely, nejčastěji v tzv. výmladkových plantážích. Biomasa jako zdroj obnovitelné energie vzrůstá na významu také v České republice a proto by měl topol být objektem zájmu aplikovaného výzkumu. V ČR bylo zatím vysazeno 250 ha těchto plantáží, ale podle platné Státní energetické

politiky by to mělo být až 60 tis. ha do roku 2030. Rozloha topolových silvikultur je v ČR okolo 10 tis. ha.

Většina hospodářsky využívaných odrůd a klonů pochází ze sekce černých a balzámových topolů (sekce *Aigeiros* a *Tacamahacca*) včetně topolu Simonova. Odrůdy jsou množeny vegetativně a jsou tak běžně reprezentovány buď přímo jednotlivými klony, nebo případně jejich směsmi. Taxonomie rodu je poměrně složitá díky přirozené variabilitě topolů a jejich ochotě k mezidruhové hybridizaci. V praxi zejména sadovnické proto dosti často dochází k záměnám jednotlivých odrůd a klonů i jejich chybnému označování.

Základní identifikační systémy založené především na morfologických datech mohou být, a často i jsou, nedostatečné. Metodika převzatá Mezinárodní komisí pro identifikaci, registra-

ci a certifikaci klonů topolu je založena na 64 morfologických a fenologických charakteristikách (IUPOV, 1981), ale je složitá, nejednoznačná a časově náročná. Naproti tomu molekulární metody poskytují jednoznačná a přesná data, která mohou být získána neinvazivně a ve velmi raných fázích ontogenetického vývoje rostliny. Od 80. let minulého století se pro identifikaci klonů využívaly izoenzymové analýzy a RAPD markery (Rajora, 1989; Benetka et al., 1999; Sánchez et al., 1998; Sabatti et al., 2001). Nevýhoda těchto markerů je v jejich omezené variabilitě a nízké reprodukovatelnosti. Vysoce polymorfní, reprodukovatelné a spolehlivé markery jsou ale SSR (simple sequence repeat) – krátké repetitivní sekvence z kódujících i nekódujících oblastí mikrosatelitové DNA (Lefort et al., 1999; Pospíšková, 2002; Khasa et al., 2003).

Molekulárně genetické metody dnes představují jednu z mála možností objektivního určení a zařazení klonů topolů s nejasným původem.

Východoasijský topol Simonův ze sekce balzámových topolů (*Tacamahaca*) se v našich podmínkách dosud používal jen omezeně, hlavně v sadovnícké praxi, například na exponovaných stanovištích, jakou jsou rekultivace nebo vegetační pásy okolo hospodářských a průmyslových objektů. Hodnocení růstu a produkce zejména jeho kříženců na rekultivacích a v pokusech pro energetické využití však ukazují, že by se mohlo jednat o velmi perspektivní druh zvláště pro srážkově chudší oblasti nebo pro lehčí půdy. Je jedním z druhů, o jehož možném využití v našich podmínkách se zmiňuje např. Mottl (1989). Tento autor také uvádí jako jeden z limitů rozšíření tohoto druhu nedostatečný genofond a nejasnosti v taxonomii klonů v domácích sbírkách používaných v sadovnícké praxi. Podle něj je pravděpodobné, že se u nás pěstují jen jeden klon s převládajícím charakterem a jeden klon úzkokorunný. Dále ve sbírkách existuje skupina kříženců topolu Simonova s dalšími druhy, které vznikly zejména výběry ze spontánních hybridních populací na devastovaných a rekultivovaných stanovištích (Mottl, Šilhart, ústní sdělení).

Topol Simonův je předmětem výzkumu zejména v Číně – zemi svého přirozeného areálu, kde je i nejdéle a nejhojněji pěstovaným a využívaným topolem. Roste v rozsáhlém areálu od Korejského poloostrova přes střední a severní části kontinentální Číny až na hranici provincií Či-zhang (Tibet) a Sin-ťiang (Dickmann, Kuzovkina, 2009). V těchto oblastech, a zejména ve stepní provincii Vnitřní Mongolsko je také velmi rozšířeno pěstování topolů v lignikulturách pro dřevozpracující průmysl a ve funkčních větroledech jako ochrany pro intenzivní zemědělství.

Naší snahou bylo ověřit použitelnost mikrosatelitových DNA markerů používaných běžně pro topol černý také pro jiné druhy rodu *Populus*, potvrdit jejich vypovídací hodnotu pro odlišení klonů (tzn. provést fingerprinting) a následná kontrola identity vs. duplicity klonů *Populus simonii* a jeho kříženců ve sbírkách VÚKOZ Průhonice, v.v.i. a ve vybraných sadovníckých výsadbách.

## 2 MATERIÁL A METODY

### Rostlinný materiál

Z celkem 23 rostlin (jedinců topolů) byly na jaře odebrány čerstvé listy k následným analýzám (tab. 1). Z toho 12 klonů pochází z archivu topolů VÚKOZ, 10 klonů ze sadovníckých výsadeb v Průhonicích a Praze a 1 klon z pokusné plochy Rux v Německu. V analyzovaném souboru je podle evidence a morfologické identifikace 13 předpokládaných klonů čistých druhů a kultivarů topolů Simonova (10), černého (2) a bavlňového (1) (*P. simonii*, *P. nigra*, *P. deltoides*). Další klony (10) představují různé skutečné nebo domnělé křížence těchto topolů ze záměrných a spontánních křížení. Celkem 7 klonů z výsadeb představuje předpokládané duplikáty klonů z archivu. Domácí topol černý je zastoupen 2 klony.

### Extrakce DNA

Listy byly zmrazeny v tekutém dusíku, lyofilizovány a ze suchého materiálu pak byla extrahována celková DNA pomocí komerční sady DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen) podle návodu výrobce.

### SSR analýzy

K určení identity bylo použito celkem 6 mikrosatelitových DNA lokusů (SSR – simple sequence repeat), vyvinutých pro druh *Populus nigra* L.: WPMS 09 (van der Shoot et al., 2000), WPMS14, WPMS15, WPMS 17, WPMS20 (Smulders et al., 2001) a PMGC14 dostupný z databáze Poplar Molecular Genetics Cooperative (<http://poplar2.cfr.washington.edu/pmgc>). Všechny lokusy byly jednotlivě amplifikovány pomocí techniky PCR (protokol dle van der Shoot et al., 2000, Smulders et al., 2001) s využitím 6 párů výše zmíněných SSR primerů a 1 univerzálního primeru M13 (Boutin-Ganache, 2001) značeného 3 různými fluorescenčními barvami WellRED D2, D3 a D4 (Beckman Coulter). Po amplifikaci byly smíchány vždy tři produkty PCR (tři SSR lokusy s různými fluorescenčními barvami) s 25  $\mu$ l deionizovaného formamidu a 0,5  $\mu$ l velikostního standardu 400 bp (Beckman Coulter) značeného fluorescenční barvou WellRED D a byla provedena fragmentační analýza v automatickém analyzátoru CEQ<sup>TM</sup> capillary DNA analysis system (Beckman Coulter).

### Statistická analýza

Pro každý SSR lokus byly vypočteny standardní populační genetické parametry k určení vypovídací hodnoty lokusů a ke zjištění interklonální DNA variability: počet alel ( $A$ ), očekávaná ( $H_e$ ) a pozorovaná ( $H_o$ ) heterozygotnost (Nei, 1978). Dále polymorfní informační obsah (PIC – polymorphic information content), což je míra informativnosti vztážená k očekávané heterozygotnosti a frekvenci alel (Botstein et al., 1980; Hearne et al., 1992). Dostatečná rozlišovací schopnost použité sady mikrosatelitových lokusů byla ověřena parametrem PI (Probability of Identity). Tento parametr určuje, s jakou pravděpodobností se dva různé genotypy shodují na jednom lokusu (Waits et al., 2001). Parametr  $PI_{(th)}$  počítá s populací, kde se jedinci mohou vzájemně volně křížit (Paetkau et Strobeck, 1994), druhý parametr  $PI_{(unbiased)}$  vychází z upravené rovnice pro korekci u malého počtu vzorků (Kendall et Stewart, 1977) a parametr  $PI_{(sib)}$  je výpočet složený

Tab. 1 Rostlinný materiál

Č.	Kód klonu	Taxon	Zdroj, původ, popis
1	P-simtri*125	<i>Populus simonii</i> Carrière × <i>P. trichocarpa</i> Torr. et A. Gray ex Hook.	Archiv topolů Průhonice; výběr spontánních kříženců (ing. Šilhart)
2	P-simFas-159	<i>P. simonii</i> Carrière 'Fastigiata'	Archiv topolů Průhonice; Svoboda nad Úpou (sadovnická výsadba)
3	P-simKČL-153	<i>P. simonii</i> Carrière	Archiv topolů Průhonice; Arboretum Kostelec nad Černými lesy
4	P-sim???*081	<i>P. simonii</i> Carrière	Archiv topolů Průhonice; možná záměna s <i>P. deltoides</i>
5	P-nigsim-410	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carrière klon CZ-2354/58	Archiv topolů Průhonice; Přerov nad Labem – výběr z populace spontánních kříženců
6	P-nigsim*052	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carrière	Archiv topolů Průhonice; možná identický klon s č. 5
7	P-nigsim-413	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carrière	Lochočická výsypka; možná příbuzný nebo identický klon s č. 5
8	P-delsim-414	<i>P. deltoides</i> W. Bartram ex Marshall var. <i>angulata</i> (Aiton) Sarg. × <i>P. simonii</i> Carrière	Archiv topolů Průhonice; záměrné křížení (Kanada)
9	P-nigLib-047	<i>P. nigra</i> L.	Archiv topolů Průhonice; přírodní výskyt (Libochovice)
10	P-nigMel-046	<i>P. nigra</i> L.	Archiv topolů Průhonice; výběr z přírodního výskytu (Mělník)
11	P-delMLR-563	<i>P. deltoides</i> W. Bartram ex Marshall	Archiv topolů Průhonice;
12	P-eursiF-516	<i>P. × canadensis</i> Moench × <i>P. simonii</i> Carrière 'Fastigiata'	Archiv topolů Průhonice; výběr spontánních kříženců (ing. Šilhart)
13	P-simFas-159	<i>P. simonii</i> Carrière 'Fastigiata'	Opláštění Michovka; sadovnická výsadba (Svoboda nad Úpou); možný duplikát č. 2
14	P-eursiF-516	<i>P. × canadensis</i> Moench × <i>P. simonii</i> Carrière 'Fastigiata'	Opláštění Michovka; možný duplikát č. 12
15	P-simKČL-153	<i>P. simonii</i> Carrière	Opláštění Michovka; možný duplikát č. 3
16	P-nigsim*900	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carrière	Opláštění Michovka; možný duplikát č. 5
17	P-simVác*901	<i>P. simonii</i> Carrière	Praha-Václavkova 24, sadovnická výsadba
18	P-simTáb*902	<i>P. simonii</i> Carrière	Praha-Táborská 65, sadovnická výsadba
19	P-simKlá*903	<i>P. simonii</i> Carrière	Praha Klárov, sadovnická výsadba
20	P-simVác-904	<i>P. simonii</i> Carrière 'Fastigiata'	Praha-Václavkova 24, sadovnická výsadba nová
21	P-simPrů*124	<i>P. simonii</i> Carrière	Podzámecká louka Průhonice, sadovnická výsadba
22	Hybrid 275	?	Pokusný porost Rux (Německo); možná identický klon s č. 23
23	P-NE42-467	<i>P. maximowiczii</i> Henry × <i>P. trichocarpa</i> Torr. et A. Gray ex Hook., klon NE-42 (Meggylevelu)	Archiv topolů Průhonice; možná identický klon s č. 22

pro populaci skládající se výhradně ze sourozenců (Evet et Weir, 1998 a Taberlet et Luikart, 1999). K výpočtům byly použity volně stažitelné programy Genepop (Raymond et Rousset, 1995), Cervus (Valiere, 2002) a Gimlet (Kalinowski et al., 2007)

### 3 VÝSLEDKY

#### Genotypová variabilita

Mikrosatelitové lokusy byly úspěšně amplifikovány pro každý pár z 6 SSR primerů u všech vzorků s jedinou výjimkou

(lokus WPMS 20 u klonu P-nigLib-047, kde se ani po opakování PCR nepodařilo získat žádnou alelu). Parametry alelové a genotypové diverzity shrnuje tabulka 2. Všechny lokusy byly polymorfní s průměrným počtem alel 7 na jeden lokus. Průměrné hodnoty očekávané heterozygotnosti (0,74), pozorované heterozygotnosti (0,69) a PIC (0,707) byly poměrně vysoké. Pravděpodobnost náhodné shody genotypů (PI) je nejčastější statistický ukazatel užívaný ke kvantifikaci schopnosti molekulárního markeru rozlišit dva různé genotypy. PI ve volně křížitelné populaci ( $PI_{th}$ ) byla průměrně 0,1 pro jeden lokus, při kombinaci více lokusů ( $PI_{th\ cumulative}$ ) ovšem prudce klesá. Pořadí lokusů, resp. SSR markerů, podle této schopnosti udává PI rank.

Tab. 2 Populačně genetické parametry jednotlivých SSR lokusů

	A	Ho	He	PIC	PI(th)	PI(unbiased)	PI(sib)	PI rank	PI(th cumul.)
WPMS09	8	1,00	0,77	0,740	0,084	0,059	0,385	3	0,084
WPMS15	6	0,610	0,580	0,541	0,215	0,173	0,514	6	0,01806
WPMS20	7	0,170	0,720	0,681	0,116	0,086	0,421	4	0,00209496
WPMS14	14	0,960	0,860	0,850	0,031	0,014	0,327	1	0,0000649438
WPMS17	5	0,570	0,630	0,594	0,173	0,133	0,479	5	0,0000112353
PMGC14	10	0,830	0,850	0,836	0,038	0,029	0,333	2	0,0000004269
Průměr	7,000	0,690	0,740	0,707	0,110	0,082	0,410		

Poznámka: A = počet alel, Ho = pozorovaná heterozygotnost, He = očekávaná heterozygotnost, PIC = polymorphic information content,  $PI_{(th)}$  = pravděpodobnost shody dvou genotypů ve volné populaci,  $PI_{(unbiased)}$  = pravděpodobnost shody dvou genotypů korigovaná na malý počet jedinců,  $PI_{(sib)}$  = pravděpodobnost shody dvou genotypů v populaci sourozenců, PI rank = pořadí lokusů podle rozlišovací schopnosti,  $(PI_{(th\ cumul.)})$  = kumulovaná pravděpodobnost shody při kombinaci dvou a více lokusů (tj.  $PI_{(th\ cumul.)}$  u šestého lokusu je pravděpodobnost shody dvou genotypů při použití všech 6 lokusů).

### Identifikace klonů

Počet nalezených genotypů se lišil od počtu vzorků, vyskytovaly se tedy duplikátní klony. Počet jedinečných genotypů u jednotlivých lokusů přináší tabulka 3.

Maticovou tabulkou byly vzájemně porovnány jednotlivé genotypy všech testovaných klonů. Chybějící alely lokusu WPMS20 u klonu P-nigLib-047 nebyly do testování zařazeny (porovnáno bylo pouze 5 lokusů). Z výsledné obsáhlé tabulky (celkem 253 párových porovnání) jsou vybrány dvojice klonů, jejichž genotypy se přesně shodují na všech 6 lokusech viz tabulka 4.

Setříděním shodných resp. unikátních genotypů do skupin lze identifikovat totožné resp. odlišné klony. Při aplikaci 6 SSR lokusů bylo nalezeno mezi 23 testovanými jedinci pouze 17 jedinečných genotypů, duplikátní klony byly seskupeny (tab. 5).

Při nastavení méně přísných kritérií (přesná shoda na méně než všech 6 lokusech) lze ještě dále seskupovat klony. V případě nerespektování odlišnosti na max. 2 alelách by bylo mož-

né setřídít klony do více početných a geneticky velmi blízkých skupin. Přehled detailních rozdílností přináší tabulka 6.

Kompletní porovnání míry shody všech genotypů podává tabulka 7.

## 4 DISKUZE

### Genotypová variabilita

K hodnocení genotypové variability různých klonů druhu *Populus L.* byly použity mikrosatelitové DNA markery vyvinuté pro druh *Populus nigra L.* I když mezidruhová amplifikace SSR markerů může být problematická, zvolená sada 6 primerů se ukázala jako vhodná, neboť poskytla dostatečný počet polymorfních alel. Průměrný počet alel 7 na jeden lokus je přiměřený ukazatel. Amplifikační reakci se nepodařilo ani opakovaným pokusem provést pouze u jednoho vzorku, což je z celkového počtu reakcí zanedbatelný počet. Vzhledem k dostatečné vypovídací hodnotě i pouze zbylých 5 markerů tento fakt nesnižuje hodnotu a spolehlivost výsledku. Vypočtené

Tab. 3 Počet unikátních genotypů na jednotlivých lokusech a v jejich kombinaci

Lokus	WPMS09	WPMS15	WPMS20	WPMS14	WPMS17	PMGC14	Kombinace všech lokusů
Počet genotypů	7	6	8	11	7	10	17

Tab. 4 Dvojice identických klonů z maticového porovnání všech testovaných jedinců

Klon 1	Klon 2	pID	pIDSib
P-delsim-414	P-nigsim-410	3,01083E-05	6,80239E-03
P-delsim-414	P-nigsim-413	3,01083E-05	6,80239E-03
P-nigsim-410	P-nigsim-413	3,01083E-06	6,80239E-03
Hybrid_275	P-NE42-467	1,22541E-12	7,03579E-04
P-simfas2-159	P-simVac-901	9,83864E-07	7,77854E-03
P-simfas2-159	P-simVac-904	9,83864E-07	7,77854E-03
P-simVac-901	P-simVac-904	9,83864E-07	7,78540E-03
P-simKla-903	P-simTab-902	1,65633E-06	7,01266E-03

Poznámka: pID = pravděpodobnost, že přesná shoda genotypu dvou nezávislých jedinců je náhodný jev, pIDSib = pravděpodobnost, že přesná shoda genotypu dvou sourozenců je náhodný jev.

Tab. 5 Seskupení klonů do skupin podle shody genotypu

Skupina č.	Zahrnuté klony
Skupina 1	P-simtri*125
Skupina 2	P-simFa1-159
Skupina 3	P-simKČ1-153
Skupina 4	P-sim???*081
Skupina 5	P-nigsim-410 P-nigsim-413 P-delsim-414
Skupina 6	P-nigsim*052
Skupina 7	P-nigLib-047
Skupina 8	P-nigMel-046
Skupina 9	P-delMLR-563
Skupina 10	P-eursi1-516
Skupina 11	P-simFa2-159 P-simVác*901 P-simVác-904
Skupina 12	P-eursi2-516
Skupina 13	P-simKČ2-153
Skupina 14	P-nigsim*900
Skupina 15	P-simTáb*902 P-simKlá*903
Skupina 16	P-simPrů*124
Skupina 17	Hybrid 275 P-NE42-467

Tab. 6 Přehled genotypových skupin s odlišností na 1 nebo 2 alelách

1 alela odlišná na 1 lokusu	
Skupina4/Skupina13	na lokusu WPMS09
Skupina5/Skupina6	na lokusu WPMS09
Skupina10/Skupina12	na lokusu WPMS09
Skupina13/Skupina15	na lokusu WPMS09
2 alely odlišné na 2 lokusech (1 u každého)	
Skupina6/Skupina13	na lokusech WPMS17 and PMGC14
Skupina12/Skupina13	na lokusech WPMS14 and PMGC14
Skupina14/Skupina11	na lokusech WPMS15 and WPMS17
2 alely odlišné na 1 lokusu	
Skupina3/Skupina10	na lokusu WPMS14
Skupina5/Skupina14	na lokusu WPMS09

Tab. 7 Maticové porovnání počtu a procentuálního vyjádření identických lokusů mezi genotypy

Sk. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	*	17	17	0	0	0	0	0	0	17	17	17	0	0	0	0	33
2	1	*	33	17	17	0	0	0	0	17	83	33	33	33	17	0	0
3	1	2	*	0	33	17	0	0	0	17	33	33	17	17	0	0	0
4	0	1	0	*	33	50	0	0	0	0	17	0	83	50	83	50	0
5	0	1	2	2	*	83	0	0	0	0	17	17	50	67	33	17	0
6	0	0	1	3	5	*	0	0	0	0	0	0	33	50	33	17	0
7	0	0	0	0	0	0	*	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	*	17	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	0	0	0	0	0	1	*	17	83	0	0	0	17	0
11	1	5	2	1	1	0	0	0	0	1	*	33	33	33	17	0	0
12	1	2	2	0	1	0	0	0	0	5	2	*	17	17	0	17	0
13	0	2	1	5	3	2	0	0	0	0	2	1	*	67	83	50	0
14	0	2	1	3	4	3	0	0	0	0	2	1	4	*	50	17	0
15	0	1	0	5	2	2	0	0	0	0	1	0	5	3	*	67	0
16	0	0	0	3	1	1	0	0	0	1	0	1	3	1	4	*	0
17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*

Poznámka: horní polovina matice = vyjádření v %, dolní polovina matice = počet shodných lokusů.

hodnoty očekávané a pozorované heterozygotnosti se obvykle vztahují k populacím, což není případ naší sady vzorků, neboť testování jedinci nepocházejí z jedné populace. Parametr ovšem může podat informaci o genové resp. alelové rozmanitosti vzorků, která je v rámci získaných hodnot – počet alel na lokus od 5 do 14, očekávaná i pozorovaná heterozygotnost v průměru kolem 0,7 – vysoká.

### Identifikace klonů

Teoretická pravděpodobnost náhodné shody dvou genotypů v populaci je v průměru 0,1 při kontrole pouze jediného lokusu. Kumulací dvou a více lokusů se pravděpodobnost náhodné shody genotypu prudce snižuje. Již při použití 5 SSR markerů se blíží nule. K podobnému závěru došli i Pospíšková a Weger (2007). Na základě tohoto faktu lze k dostatečně průkazné identifikaci genotypu, tzv. fingerprintingu, používat zvolenou sadu 6 mikrosatelitových markerů.

Výsledky analýz potvrdily poměrně velký podíl nepřesností v taxonomickém zařazení testovaných klonů podle dřívějších i současných determinací založených a morfologických markerů. Podařilo se potvrdit 3 skupiny předpokládaných identických klonů (duplikací) – převislý klon *P. simonii* (pravděpodobně 'Pendula' viz Dickmann, Kuzovkina, 2008), úzkokorunný kultivar *P. simonii* 'Fastigiata' a skupinu kříženců *P. nigra* × *P. simonii* perspektivní pro produkci biomasy. Pomocí genetického testu se podařilo prokázat chybu při odběru vzorku klonu P-simVác\*901 převislého kultivaru *P. simonii* ve Václavkově ulici, kde kultivary rostou vedle sebe – viz obr. 1.

Byla také potvrzena existence velmi omezeného sortimentu topolu Simonova v ČR. V sadovnických výsadbách, kde jsme odebírali vzorky, se vyskytují pouze výše uvedené 2 klony – 'Fastigiata' a 'Pendula'. Převislý kultivar je podle výsledků s největší pravděpodobností identický s původním jedincem z Průhonického parku. Co se týče sortimentu topolu Simonova, byl nalezen pouze jeden čistý klon tohoto druhu. Celkový počet geneticky odlišných jedinců topolu Simonova a jeho kříženců je dokonce nižší než jsme předpokládali podle literatury (Mottl, 1989) a evidence sbírek.

## 5 ZÁVĚRY

V naší studii jsme prokázali, že (i) SSR markery publikované pro druh *Populus nigra* L. lze úspěšně aplikovat i pro druhy *Populus simonii* Carrière, *Populus deltoides* Marsch. a jejich křížence; (ii) těmito markery lze identifikovat duplikátní klony a (iii) vhodným počtem těchto markerů lze vytvořit specifický genetický identifikátor pro klony udržované ve výzkumných či komerčních sbírkách.

Výsledky analýz DNA vybraných druhů a kříženců topolů metodou SSR potvrdily poměrně velký podíl nepřesností v taxonomickém zařazení testovaných klonů podle dřívějších i současných determinací založených na morfologických znacích. Podařilo se potvrdit předpokládané duplikace klonů. Metoda SSR, zejména v kombinaci s kvalitní morfologickou taxonomií, se ukázala být efektivní metodou při mapování klonového a kultivarového sortimentu z okruhu 4 studovaných druhů topolů.

### Poděkování

Tento výzkum byl proveden za podpory projektu MŠMT č. 2B06132. Speciální poděkování patří institutu Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft ve Vídni, v jejichž laboratořích byly analýzy zpracovány, jmenovitě pak Dr. Bertholdovi Heinzemu a Barbaře Fussi, za laskavou podporu a pomoc v laboratorní práci.



Obr. 1 Dva kultivary topolu Simonova používané v ulicích Prahy – zleva: převislý ('Pendula') a úzkokorunný 'Fastigiata' (Václavkova ulice, březen 2009)

## LITERATURA

- Benetka, V., Mottl, J., Vacková, K., Pospíšková, M., Dubský, M. (1999): Estimation of the introgression in the *Populus nigra* L. population by means of isozyme analysis. *Silvae Genetica*, vol. 48, p. 218–223.
- Botstein, D., White, R. L., Skolnick, M., Davis, R. W. (1980): Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*, vol. 32, p. 314–331.
- Boutin-Ganache, I., Raposo, M., Raymond, M., Deschepper C. F. (2001): M13-Tailed primers improve the readability and usability of microsatellite analyses performed with two different allele-sizing methods. *Biotechniques*, vol. 31, no. 1, p. 24–28.
- Dickmann, D. I., Kuzovkina, J. (2008): Poplars and willows of the world, with the emphasis on the silviculturally important species. Working paper IPC/9-2, FAO, Rome, 135 p.
- Evet, I. & Weir, B. (1998): Interpreting DNA evidence: Statistical Genetics for Forensic Scientists. Sinauer Associates, Sunderland.
- FAO (1979): Poplars and willows in wood production and land use. FAO For. Ser. 10.
- FAO (2008): Poplars, willows and people's wellbeing – Working paper IPC/6-2, FAO, Rome, 65 p.
- Hearne, C. M., Ghosh, S., Todd, J. A. (1992): Microsatellites



- for linkage analysis of genetic traits. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 8, p. 288–294.
- IUPOV (1981): Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability – *Populus* L. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva, Švýcarsko.
- Kalinowski, S. T., Taper, M. L., Marshall, T. C. (2007): Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology*, vol. 16, p. 1099–1006.
- Kendall, M. & Stewart, A. (1977): The advanced Theory of statistics, volume 1. Macmillan, New York.
- Khasa, D. P., Nadeem, S., Thomas, B., Robertson, A., Bousquet, J. (2003): Application of SSR markers for parentage analysis of *Populus* clones. *Forest Genetics*, vol. 10, p. 273–281.
- Lefort, F., Echt, C., Streiff, R., Vendramin, G. G. (1999): Microsatellite sequences: a new generation of molecular markers for forest genetics. *Forest Genetics* vol. 6, no. 1, p. 5–20.
- Mottl, J. (1989): Topoly a jejich uplatnění v zeleni. Aktuality VŠŮOZ Průhonice, 24 s., ISBN 80-85116-02-2.
- Nei, M. (1978): Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, vol. 89, p. 583–590.
- Paetkau, D. & Strobeck, C. (1994): Microsatellite analysis of genetic variation in black bear populations. *Molecular Ecology*, vol. 3, p. 489–495.
- Pospíšková, M. (2002): DNA polymorfismus: Obecné využití se zaměřením na metodu mikrosatelitů a DNA polymorfismu u topolu a dubu. *Acta Pruhoniana*, č. 73, s. 60–72.
- Rajora, O. P. (1989): Genetic structure and identification of *Populus deltoides* Marsh. clones based on allozymes. *Genome*, vol. 32, p. 440–448.
- Raymond, M. & Rousset, F. (1995): GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Heredity*, vol. 86, p. 248–249.
- Sabatti, M., D'Ovidio, R., Tanzarella, O. A., Scarascia, G. E. (2001): Assessment of geographic variation by RAPD markers among Italian open-pollinated progenies of *Populus alba* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol. 48, p. 423–428.
- Sánchez, N., Grau, J. M., Manzanera, J. A., Bueno, M. A. (1998): RAPD markers for the identification of *Populus* species. *Silvae Genetica*, vol. 47, p. 67–71.
- Smulders, M. J. M., van der Shoot, J., Arens, P., Vosman, B. (2001): Trinucleotide repeat microsatellite markers for black poplar (*Populus nigra* L.). *Molecular Ecology Notes*, vol. 1, p. 188–190.
- Taberlet, P. & Luikart, G. (1999): Non-invasive genetic sampling and individual identification. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 68, p. 41–55.
- Valiere, N. (2002): GIMLET: a computer program for analysing genetic individual identification data. *Molecular Ecology Notes*, vol. 2, p. 377–379.
- van der Shoot, J., Pospíšková, M., Vosman, B., Smulders, M. J. M. (2000): Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 101, p. 317–322.
- Waits, L. P., Luikart, G., Taberlet, P. (2001): Estimating the probability of identity among genotypes in natural populations: cautions and guidelines. *Molecular Ecology Notes*, vol. 10, p. 249–256.
- Weger, J. & Pospíšková, M. (2007): DNA Identification of Poplar clones grown for production of energy biomass on an example of hybrid poplar *Populus nigra* L. × *Populus maximoviczii* Leb. In *The tree and flower - a part of life*, VŮKOZ, Průhonice, p. 155–158.

Rukopis doručen: 22. 7. 2009

Přijat po recenzi: 1. 9. 2009



# HODNOCENÍ POLNÍHO POKUSU S OZDOBNICEMI (*MISCANTHUS SP.*) PO DVOU LETECH RŮSTU NA RŮZNÝCH STANOVIŠTÍCH

## EVALUATION OF FIELD EXPERIMENT WITH *MISCANTHUS* CLONES (*MISCANTHUS SP.*) ON TWO SITES AFTER TWO YEARS

Jan Weger<sup>1</sup>, Zdeněk Stražil<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v.u.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, weger@vukoz.cz

<sup>2</sup> Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.u.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, strasil@vurv.cz

### Abstrakt

Příspěvek shrnuje výsledky hodnocení polního pokusu s vybranými klony ozdobnice čínské (*Miscanthus sinensis* Andersson) a jejích hybridů založeném na dvou lokalitách. Hlavním cílem pokusu je výběr vhodných klonů pro pěstování. Je hodnocen vliv stanoviště na ujmavost, přezimování rostlin, růstové a výnosové parametry během prvních dvou let pěstování. Dále jsou sledovány kvetení a zdravotní stav. Průměrný jarní výnos sušiny všech klonů v druhém roce byl 1,6 a 2 t(suš.)/ha na lokalitě Lukavec resp. Průhonice. V Průhonicích byl nejvýnosnější klon M6 (3,5 t/ha) a v Lukavci klon M3 a M5 (2,29 resp. 2,28 t(suš.)/ha).

**Klíčová slova:** ozdobnice, biomasa, výnosy

### Abstract

The article comprises the results of evaluation of selected clones of *Miscanthus* (*Miscanthus sinensis*) and its hybrids (*Miscanthus* × *giganteus*). The main purpose of the test is selection of suitable clones for their biomass production. The influence is studied of locality and weather conditions on survival, overwintering and yield. Other evaluated parameters are number of stems, flowering and health of plants. The average spring yields of all clones were 1,6 and 2 o.d.t./ha on localities Lukavec and Průhonice. The highest yield had clone M6 (3,5 o.d.t./ha) in Průhonice. Clones M3 and M5 had the highest yield in Lukavec (2,3 and 2,3 o.d.t./ha)

**Keywords:** *Miscanthus*, biomass, yields

## 1 ÚVOD

Podle aktuálních politik a dokumentů MPO, MZe a MŽP (SEP, Akční plán pro biomasu) je biomasa významným domácím strategickým energetickým a nepotravinovým zdrojem. Perspektivní jsou zejména tzv. energetické plodiny druhé generace s výrazně lepším poměrem vložené a získané energie (nad 1:10). Jsou to zejména dřevnaté a vytrvalé travnaté rostliny. Mezi ně patří také ozdobnice (*Miscanthus*).

Rod *Miscanthus* (ozdobnice) je přirozeně rozšířen převážně v tropických a mírných oblastech. Zahrnuje celkem 33 taxonů. Původní domovinou ozdobnice je východní Asie. Ozdobnice jsou vytrvalé trávy vysokého vzrůstu. Botanicky se řadí do čeledi lipnicovité (*Poaceae*), tribus vousekovicité (*Andropogoneae*). Jsou to vytrvalé rostliny typu C4. Současné odrůdy dosahují za příznivých podmínek výnosu přes 30 tun sušiny z hektaru. Dobře využívají sluneční energii, vodu, živiny. Jsou značně odolné proti chorobám a škůdcům.

Výzkum a polní pokusy s touto rostlinou byly nebo jsou prováděny skoro ve všech zemích EU. V podmínkách Anglie se zabývají výzkumem ozdobnice např. Bullard (1994), Clifton-Brown a kol. (2001). V SRN ověřovali ozdobnici např. Schwarz a kol. (1994), Hartmann (1995), Lewandowski a kol. (2000), v Dánsku Jørgensen, (1996), v Itálii Ercoli a kol., (1999), Petrini a kol., (1996), v Řecku Danalatos a kol., (1998) apod.

V roce 1996 založena pracovní skupina 21 organizací ze 13 států Evropy, které zahrnují organizace zemědělské, vědecké

a průmyslové zabývající se problematikou pěstování a využití ozdobnice. Tato skupina zpracovala publikaci, která podává informace jak o uvedených organizacích, tak o samotné ozdobnici (Walsh, McCarthy, 1998).

V Evropských zemích začalo poloprovozní pěstování ozdobnice zejména v Německu a Velké Británii v 80. letech. První rozsáhlejší porosty kultivaru 'Giganteus' (dnes označován jako *Miscanthus* × *giganteus* J. M. Greef & Deuter) však vymrzly v Německu v 80. letech. Proto byl započat nový výzkum, zabývající se hlouběji problematikou ozdobnice včetně výběru a šlechtění nových odolných odrůd zejména v rámci evropského projektu EMI – European *Miscanthus* Improvement, který probíhal počátkem 90. let. Po jeho skončení pokračuje výzkum ozdobnic samostatně v několika pracovištích zejména v Německu, USA a Velké Británii. V současné době je v Evropě vysázeno asi 500 ha ozdobnice, z toho asi 80 % této výměry se nalézá v Německu, Velké Británii a Nizozemí.

Současný pomalý nárůst pěstební plochy v Evropě je dán hlavně tím, že pěstované odrůdy ozdobnice mají kromě většiny nesporných výhod dvě nevýhody. První nevýhodou je slabší mrazuvzdornost kořenových oddenků v prvním roce po založení nebo při silném promrzání půdy do větších hloubek. Vymrzání většinou postihuje porosty založené ze slabých sazenic nebo porosty založené z krátkých kořenových oddenků. Další nevýhodou je zatím drahá sadba (oddenky a sazenice).

Ozdobnice byly doposud hodnoceny jako málo vhodné pro pěstování v podmínkách České republiky. První výsad-

by v ČR prováděné blíže neidentifikovaným sadebním materiálem v 90. letech trpěly na některých stanovištích vysokými ztrátami při přezimování po výsadbě (Ustak, ústní sdělení, zimní období 1994/1995). Toto vedlo k částečné nedůvěře k ozdobnici u nás. To byl jeden z důvodů, že byly založeny další nové pokusy, které by ověřily vhodnost pěstování ozdobnice v podmínkách ČR.

Cílem našeho pokusu je zhodnocení nového sortimentu ozdobnic pocházejícího převážně z projektu EMI, a to zejména z hlediska jejich možného využití pro produkci biomasy k energetickému využití v podmínkách České republiky. Jedná se zejména o výnosový potenciál, technické a palivářské vlastnosti a identifikace hlavních bariér pro jejich uplatnění v pěstitelské praxi.

## 2 MATERIÁL A METODA

Polní pokus s ozdobnicí čínskou a jejími kříženci (*Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus*) byl založen současně na dvou stanovištích, a to v Průhonicích a na Lukavci dne 4. 5. 2007.

### 2.1 Stanoviště a klima

Stanovištní podmínky obou lokalit – Průhonic a Lukavce – uvádí tabulka 1. První lokalita leží na okraji obilnářské pěstební oblasti a druhá v oblasti bramborářské, kde je větší pravděpodobnost pro rozvoj pěstování alternativních plodin. Během pokusných let byl sledován na obou stanovištích průběh počasí (grafy 1, 2, 3, 4) a stanoven jeho vliv na sledované ukazatele.

### 2.2 Sortiment a schéma pokusu

Pokus byl založen ze 4 klonů ozdobnice čínské (*Miscanthus sinensis*) a 2 klonů jejího křížence (*Miscanthus × giganteus*) převážně původem z Evropského projektu zušlechťování ozdobnic (EMI, viz tab. 2), které byly vysazeny ve čtyřech nahodilých opakováních. Pokusy byly založeny z oddenků (rhizomů) ozdobnic dlouhých nejméně 5 cm ve sponu 1 × 1 m, tj. jed-

na rostlina na 1 m<sup>2</sup>. Na základní parcelce pokusu bylo vysazeno 18 a na zvětšené (klony M1 a M6) 32 jedinců příslušného klonu. Do izolačního pásu byl použit klon *Miscanthus × giganteus* z VÚRV, v.v.i., který byl testován v předcházejících letech. Schéma založení pokusu v Lukavci a Průhonicích je uvedeno v obr. 1.

Dva ze 6 klonů byly založeny s parcelkami o dvojnásobné velikosti (32 ks), aby bylo možné provádět srovnání mezi 2 termíny sklizně – podzimním a jarním. V jarních a doplňkově také podzimních termínech také probíhala hodnocení (měření) vybraných růstových a výnosových parametrů ozdobnic – zejm. výnos nadzemní biomasy, počet stébel, výška rostlin, procento přežívání, kvetení a výskyt biotického a abiotického poškození.

Průměrný hektarový výnos sušiny pro daný klon (t(suš.)/ha/rok, 0 % obsah vody) byl vypočten jako průměr výnosů z jednotlivých opakování (parcelek) pokusu. Hektarový výnos sušiny z parcelky se počítal ze surové hmotnosti jedinců získaných při polním vážení dle standardního přepočtu používaného pro dřevnaté energetické plodiny, tzn. se zahrnutím skutečných ztrát dle vzorce:

$$Y_d = (W_w * D / N_p) * N_{ha} / C$$

$Y_d$  výnos na hektar v sušině – t(suš.)/ha

$W_w$  surová hmotnost všech živých jedinců klonu v pokusné parcelce

$D$  podíl sušiny v surové hmotnosti vzorku – %

$N_p$  počet jedinců vysázených v pokusné parcelce

$N_{ha}$  počet jedinců v pokusu přepočtený na hektar (hustota výsadby) – ks/ha

$C$  koeficient přepočtu hmotnosti z polních jednotek (kg, m<sup>2</sup>) na kalkulované (t, ha)

### 2.3 Založení a údržba pokusu

Před výsadbou (V/2007) byly dobře odplevelené pozemky na podzim roku 2006 celoplošně připraveny orbou a na jaře

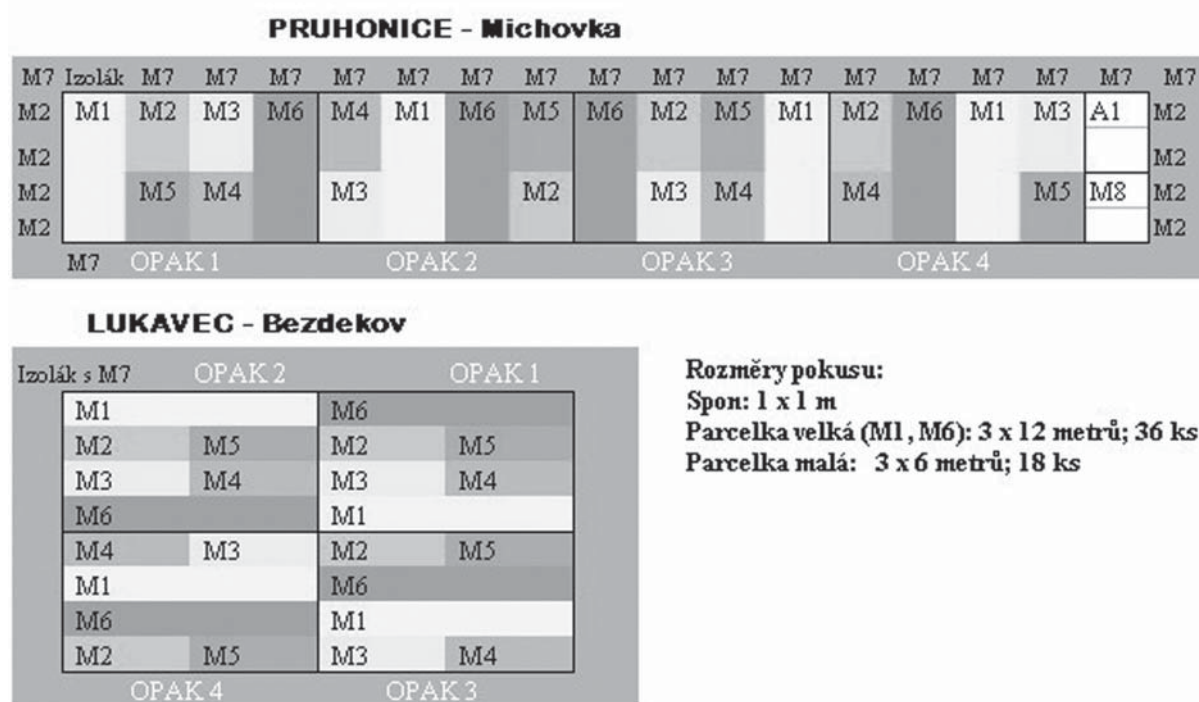
Tab. 1 Stanovištní podmínky pokusných míst

Ukazatel	Průhonice Michovka	Lukavec u Pacova
Zeměpisná šířka	49°59'28"	49°34'20"
Zeměpisná délka	14°34'38"	14°58'07"
Nadmořská výška (m n.m.)	332	570
Půdní druh	jílovito-hlinitá	písčito-hlinitá
Půdní typ	hnědozem	kambizem
BPEJ	2.21.00	7.29.11
Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	8,8	7,3
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	580	682
<b>Agrochemické vlastnosti půdy:</b>		
Obsah humusu (%)	1,30	3,83
pH (KCl)	4,8 *	4,82
Obsah P (Mehlich III, mg/kg půdy)	67,75	98,9
Obsah K (Mehlich III, mg/kg půdy)	153	344

\* přepočteno z aktivního pH

Tab. 2 Sortiment ozdobnic v pokusu

Č. klonu	Kód klonu	Taxon ( <i>Miscanthus</i> )	Původ	Počet kusů Průhonice	Počet kusů Lukavec
M1	M-GigM53-003	<i>M. × giganteus</i>	Německo	144	144
M2	M-GigFou-009	<i>M. × giganteus</i>	Dánsko	72	72
M3	M-sin902-005	<i>M. sinensis</i>	Dánsko	72	72
M4	M-sinGOF-002	<i>M. sinensis</i>	Německo	72	72
M5	M-sin903-006	<i>M. sinensis</i>	Dánsko	72	72
M6	M-sinM43-004	<i>M. sinensis</i>	Německo	144	144
M7	M-GigVURV-011	<i>M. × giganteus</i>	VÚRV	150	150



**Rozměry pokusu:**

**Spon: 1 x 1 m**

**Parcelka velká (M1, M6): 3 x 12 metrů; 36 ks**

**Parcelka malá: 3 x 6 metrů; 18 ks**

Obr. 1 Schéma založení pokusu s ozdobnicí (*Miscanthus*) v Průhonících a Lukavci (2007)

srovnány pro ruční výsadbu. Schéma pokusu bylo přesně vytyčeno pomocí pásem a provázků.

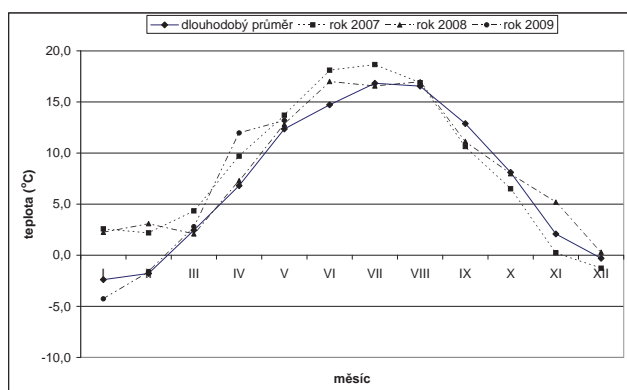
Pokusy byly založeny v květnu 2007 z oddenků (rhizomů) ozdobnic dlouhých nejméně 5 cm ve sponu 1 × 1 m, tj. jedna rostlina na 1 m<sup>2</sup>. U klonů *Miscanthus sinensis*, který má oddenky slabších průměrů, byly sázeny 2 oddenky do jedné jamky hluboké cca 3–5 cm. Na základní parcelce pokusu (3 × 9 m) bylo vysazeno 18 a na zvětšené (klony M1 a M6) 32 jedinců příslušného klonu.

Pozemky v Lukavci byly před výsadbou jednorázově vyhnojeny P, K: 70 kg/ha K (draselná sůl), 40 kg/ha P (superfosfát). Hnojení dusíkem v roce založení porostu nebylo použito. Od roku 2010 bude aplikováno každoroční přihnojení N koncem dubna v dávce 80 kg/ha N (ledek amonný s vápencem). Pro pokus byly zvoleny jen jednotné udržovací dávky hnojení N, neboť sledování tohoto faktoru není cílem pokusu.

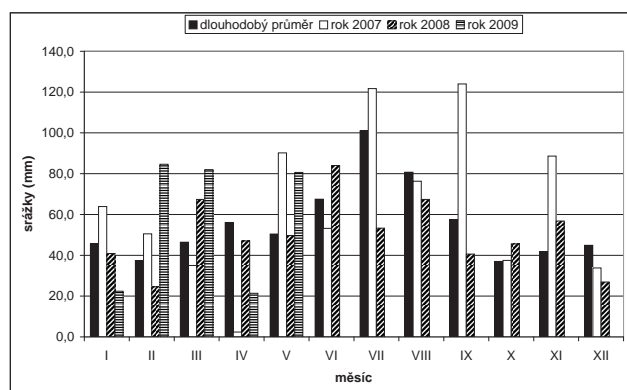
### 3 VÝSLEDKY A DISKUZE

#### 3.1 Průběh počasí

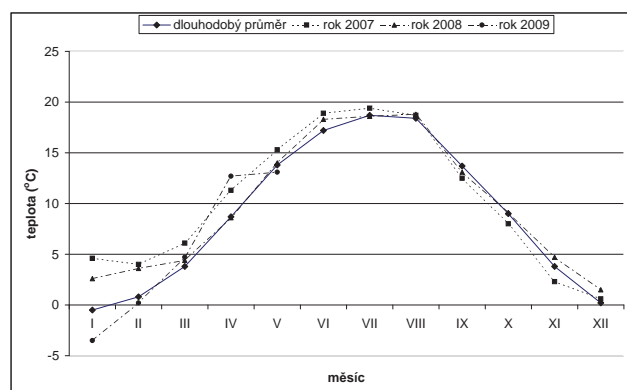
Průběh průměrných teplot a sumu srážek v měsíčních intervalech za sledované období uvádí pro jednotlivá stanoviště grafy 1, 2, 3, 4. Z grafů je vidět, že v prvním roce bylo relativně příznivé počasí, které umožnilo dobré ujetí pokusné výsadby. Teploty na obou stanovištích byly v roce 2007 od začátku roku až do června nad dlouhodobým průměrem. Po založení pokusu spadlo relativně dostatek srážek, které také měly pozitivní vliv na relativně dobré ujetí porostu. Také přes zimní období 2007/2008 byly teploty na obou stanovištích nad dlouhodobým průměrem (graf 1, 3), což mělo pozitivní vliv na přezimování rostlin. V následujícím roce 2008 byl průběh teplot a srážek až na výjimky na obou stanovištích podobný dlouhodobému průměru.



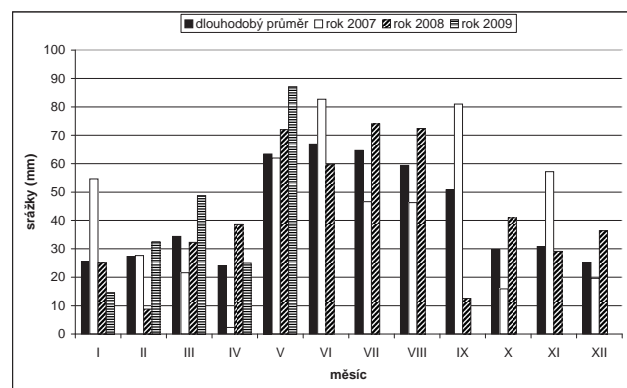
Graf 1 Průběh teplot za sledované období a dlouhodobý průměr teplot na stanovišti v Lukavci



Graf 2 Průběh srážek za sledované období a dlouhodobý průměr srážek na stanovišti v Lukavci



Graf 3 Průběh teplot za sledované období a dlouhodobý průměr teplot na stanovišti v Průhonicích



Graf 4 Průběh srážek za sledované období a dlouhodobý průměr srážek na stanovišti v Průhonicích

### 3.2 Ujímavost a procento přežívání

Ujímavost rostlin je velmi důležitým ukazatelem při zakládání porostů ozdobnice. Pokud jde o rostliny vypěstované z explantátů, nejlépe se ujímají rostliny, které jsou dopěstovány do větších rostlin a přečkaly v kořenáčích již jednu zimu. Z oddenků se nejlépe ujímají rostliny, kdy bylo při výsadbě použito oddenků delších než 5 cm (lépe 10 cm). Nabízí se otázka, z kterých porostů založených uvedenými způsoby rozmnožování je ozdobnice odolnější pro přezimování. Podle Hotze a kol. (1997) přežilo v průměru různých stanovišť u rostlin z tkáňových kultur zimní období 1996/1997 jen 79,6 % rostlin v porovnání s 95,5 % rostlinami založenými z rhizomů. Také Schwarz a kol. (1998), Stražil (2007) uvádí lepší přezimovací schopnost v prvním roce rostlin ozdobnice založených z oddenků. Z uvedeného vyplývá, že k vymrzání jsou méně náchylné rostliny založené z rhizomů než rostliny založené z explantátů. Je to zřejmě ovlivněno tím, že rostliny založené z explantátů neprodukuje dostatečné metabolické rezervy do jejich rhizomů a toto vede k tomu, že nejsou schopné přežít zimu. Naše pokusy byly proto založeny z oddenků.

V našich pokusech byla provedena inventarizace porostů na podzim 2007 (po 1. vegetaci). Byl stanoven počet vzešlých rostlin, počet stébel. Při inventarizaci bylo zjištěno, že v Lukavci nevzešlo u jednotlivých klonů 6–25 % rostlin a v Průhonicích 5–16 %. V Lukavci měl nejhorší vzházivost (procento přežívání) *Miscanthus × giganteus* původem z Dánska (M2 – 75 %) a nejlepší dva klony *Miscanthus sinensis* (M3, M5 – 94 %). V Průhonicích vykázal největší vzházivost *Miscanthus sinensis* z Německa (M6 – 95 %), nejmenší vzházivost *Miscanthus × giganteus* z Německa (M1) a *Miscanthus sinensis* z Dánska (M5 – 84 %) (tab. 3). Z výsledků je patrné, že vzházivost byla ovlivněna spíše kvalitou sadbového materiálu, než stanovištěm nebo jednotlivými klony ozdobnic.

Přes zimní období 2007/2008 nebyl na obou stanovištích zaznamenán žádný úbytek rostlin. Rostliny přezimovaly tuto zimu v podstatě beze ztrát. Toto se dá přisuzovat poměrně mírné zimě s relativním dostatkem sněhu. Např. minimální teplota půdy v 5 cm na stanovišti v Lukavci byla naměřena v únoru  $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v Průhonicích v únoru pouze  $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což jsou podle současných poznatků teploty, která by neměly způsobit úhyn rostlin.

Například Ziegenhogen (1994) ověřoval odolnost proti mrazu u ozdobnice v exaktních laboratorních podmínkách (v růstové komoře). Mráz v období tvorby výhonků  $-2\text{ až }4\text{ }^{\circ}\text{C}$  viditelně nepoškozoval stonky ani listy pokusných rostlin, ale způsoboval měřitelné růstové deprese v porovnání s kontrolními rostlinami. Viditelné poškození stonků a listů bylo patrné při teplotách pod  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kompletní poškození bylo pozorováno při teplotách pod  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přesto potom byla pozorována regenerace z rhizomů v období následujícím po mrazovém ošetření.

Na jaře 2008 byly na místa po nevházených odumřelých rostlinách dosazeny roční sazenice vypěstované pro tento účel z původních oddenků na obou lokalitách. Inventarizace provedená na jaře 2009 ukázala, že dosadby v Lukavci byly méně úspěšné oproti Průhonicím, kde se podařilo dosáhnout 98,5 % přežívajících jedinců. V Lukavci to bylo jen 86,3 % což je jen o 1 % lépe než v roce 2008. Na relativně vysokých ztrátách se podílel

hlavně klon M4, který měl v druhém roce růstu nejvyšší ztráty na obou lokalitách – 76 % resp. 95 %.

### 3.3 Počet stébel a kvetení

Počet stébel v trsu (jedince) byl hodnocen po jarní slizni 2008 a 2009. Z výsledků je zřejmý významný rozdíl mezi klony *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus* (tab. 3). Zatímco první vytvářejí kompaktní trsy tenkých stébel (v průměru 40 ks v trsu v roce 2009), klony druhé skupiny vyvíjejí řídké trsy v průměru s 12 silnými stébly (v roce 2009).

Uvedený rozdíl je statisticky velmi dobře průkazný na obou lokalitách. Do první skupiny trsnatých ozdobnic patří zejména dánské klony M3, M5 a také jeden z německých kříženců M6. Do druhé skupiny oddenkatě se rozrůstajících ozdobnic patří klony *Miscanthus × giganteus* M1, M2 a klon M4, což je německý kříženec ozdobnice čínské.

V druhém roce zvýšily všechny klony oproti prvnímu roku výrazně počet stébel (hlavně klony *Miscanthus sinensis*), a to na obou lokalitách. Rozdíly mezi klony se v hodnocených parametrech zvyšují a jsou již v některých případech statisticky prokazatelné (MP ANOVA, tab. 3, graf. 3).

U některých klonů se ukazují výrazné rozdíly v počtu stébel dosaženém na jedné a druhé lokalitě, které by mohly ukazovat na rozdílné adaptace a reakce klonů na odlišné stanovištní podmínky pokusných lokalit. Největší počet stébel v Lukav-

ci vytvořil klon M3 původem z dánských výběrů a v Průhonicích klon M6 z výběrů německých.

### 3.4 Výnosy

Na jaře 2008 před rašením ozdobnic byla provedena 1. (jarní) sklizeň nadzemní fytomasy a zjištěny výnos čerstvé surové hmoty, obsah vody ve fytomase a vypočteny (jarní) výnosy sušiny jednotlivých klonů na obou stanovištích (tab. 3). Na podzim roku 2008 byla po skončení vegetace provedena tzv. podzimní sklizeň nadzemní fytomasy u klonů, jež zaujímají v pokusu dvojnásobnou plochu (M1, M6), a zjištěny stejné parametry jako při sklizni jarní. Na jaře 2009 byla potom provedena 2. jarní sklizeň fytomasy.

Z výsledků je patrné, že pokusné výsadby v druhém roce prospívají velmi dobře. Všechny klony oproti prvnímu roku výrazně zvýšily výnos sušiny (2–9×), a to na obou lokalitách. Rozdíly mezi klony se v hodnocených parametrech zvyšují a jsou již v některých případech statisticky prokazatelné (MP ANOVA, tab. 3, graf. 3). Dosažený průměrný jarní výnos všech klonů v druhém roce růstu na jaře byl v Lukavci 1,6 a Průhonicích 2(suš.)/ha/rok.

Také se již zřejmě začínají projevovat rozdíly v prospívání jednotlivých klonů na obou lokalitách. Zatímco v Průhonicích byl nejvyšší výnos sušiny dosažen u klonu M6 z Německa (3,5 t(suš.)/ha/rok), v Lukavci byl největší výnos zjištěn u klonů M5 a M3 z Dánska (2,29 resp. 2,28 t(suš.)/ha/

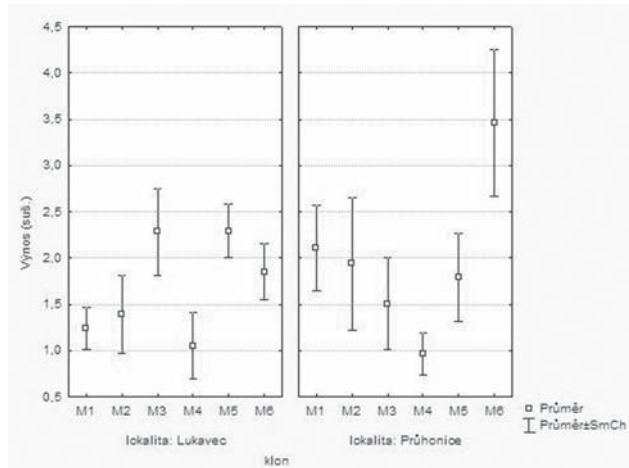
Tab. 3 Průměrné hodnoty počtu vzešlých rostlin (%) a výnosů sušiny (t/ha/rok) a počtu stébel (ks/rostlina) při inventarizaci na stanovištích v Lukavci a Průhonicích (2007–2009)

Ukazatel	Stanoviště	Klony ozdobnice					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
<b>2007 – podzim</b>							
Procento přežívání (%)	Lukavec	81,3	75,3	94,0	92,3	94,0	78,7
	Průhonice	84,0	86,8	87	92,8	84	94,5
	Průměr	82,7	81,1	90,5	92,6	89,0	86,6
<b>2008 – jaro</b>							
Počet stébel (ks/rostlina)	Lukavec	4,2	5,0	5,9	5,4	6,4	6,2
	Průhonice	3,4	2,8	3,0	2,5	4,1	4,7
	Průměr	3,8	3,9	4,5	3,9	5,3	5,5
Prům. výnos (t/ha/rok)	Lukavec	0,815	0,440	0,260	0,415	0,350	0,660
	Průhonice	0,391	0,355	0,189	0,228	0,338	0,584
	Průměr	0,603	0,398	0,225	0,322	0,344	0,622
<b>2009 – jaro</b>							
Procento přežívání (%)	Lukavec	80,6	79,2	95,8	76,4	97,2	88,9
	Průhonice	98,4	100,0	100,0	95,6	98,6	98,6
	Průměr	89,5	89,6	97,9	86	97,9	93,75
Počet stébel (ks/rostlina)	Lukavec	10,0a	11,2a	<b>45,3d</b>	12,9a	41,2c	24,9b
	Průhonice	15,1ab	13,8a	28,0bc	13,9a	30,5c	<b>44,5d</b>
	Průměr	12,55	12,5	36,65	13,4	35,85	34,7
Prům. výnos (t/ha/rok)	Lukavec	1,241	1,393	<b>2,281b</b>	1,052 a	<b>2,290b</b>	1,852
	Průhonice	2,106	1,935	1,507a	0,964 a	1,794	<b>3,456b</b>
	Průměr	1,674	1,664	1,894	1,008	2,042	2,654

a, b, c, d – statisticky průkazné rozdíly hodnot v rádcích (MP ANOVA, Duncan; Levenův test > 0,05)

rok), tedy u jiných klonů než v Průhonicích (tab. 3). Výsledky naznačují odlišné adaptace klonů na stanovištní podmínky lokalit pokusu.

V Německu sledovali na 12 stanovištích (Schwarz a kol., 1994) jak výnosy fytomasy ozdobnice ovlivňují teploty vzduchu během vegetace. Výnosy fytomasy byly redukovány, pokud průměrné měsíční teploty vzduchu od května do října byly menší než 13,5 °C, zatímco větších výnosů se dosáhlo při průměrných teplotách vzduchu vyšších než 15 °C a srážkách vyšších než 400 mm. Vliv stanoviště na výnosy fytomasy ozdobnice sledovali také např. Stražil a Jevič (2006), Stražil a Weger (2008).



Graf 5 Průměrný jarní výnos vybraných klonů ozdobnic v Lukavci a Průhonicích v druhé sklizni

### 3.4.1 Hodnocení výnosů při různých termínech sklizně

Podle srovnání výsledků „podzimní a jarní sklizně“ dvou vybraných klonů (M1, M6) je zřejmé, že jarní výnosy sušiny jsou sníženy o ztrátu způsobenou opadem zejména listové biomasy vlivem počasí v průběhu vegetačního klidu. Podle sledování provedeném v Lukavci byly ztráty 50–58% a v Průhonicích jen 0–24% (tab. 4). Jednou z příčin tohoto rozdílu by mohl být drsnější průběh zimního počasí v Lukavci oproti Průhonicím. Vysoké ztráty biomasy v zimním období v Lukavci také mohou být důvodem celkově nižšího výnosu sušiny na této lokalitě v roce 2009 (jarní sklizeň) oproti Průhonicím. Ztráty fytoma-

Tab. 4 Průměrné hodnoty výnosů sušiny (t/ha/rok) a počtu stébel (ks/rostlina) vybraných klonů ozdobnice v různých termínech sklizně na stanovištích v Lukavci a Průhonicích

Ukazatel	Stanoviště	Klony ozdobnice			
		M1		M6	
		Podzimní sklizeň 2008	Jarní sklizeň 2009	Podzimní sklizeň 2008	Jarní sklizeň 2009
Prům. výnos (t/ha/rok)	Lukavec	2,9852	1,2415	3,7342	1,8518
	Průhonice	2,7720	2,1125	3,3840	3,4527
	Průměr	2,8786	1,677	3,5591	2,6523
Počet stébel (ks)	Lukavec	9,5		26,2	
	Průhonice	16,7a		44,6b	
	Průměr	13,1		35,49	

a, b, statisticky průkazné rozdíly hodnot v řádcích (MP ANOVA, Duncan; Levenův test > 0,05)

sy ozdobnice v Lukavci přes zimní období jsou v daném období vyšší než uvádí na tomto stanovišti z dřívějších pokusů s *Miscanthus × giganteus* Stražil (1999) – v průměru 30%. Podrobnějšímu objasnění tohoto rozdílu bychom se chtěli věnovat při další sklizni 2009/2010.

## 3.5 Další hodnocené parametry

### 3.5.1 Kvetení

Na podzim v roce 2008 bylo zaznamenáno také kvetení rostlin, pokud se vyskytovalo. V Lukavci i v Průhonicích vykvetly všichni jedinci klonů *Miscanthus sinensis* (M3, M5, M6), kromě dosad v roce 2008.

### 3.5.2 Zdravotní stav

Po celou dobu pokusu nebyly pozorovány žádné vážné příznaky biotického poškození. Příčinou občasných neujmutí výsadby oddenků, příp. sazenic byla nespíše horší kvalita sadebního materiálu, případně horší vzcházivost konkrétního klonu ozdobnice.

Zatím nejvážnějším biotickým poškozením testovaných klonů byla poléhavost stébel pod tíhou sněhu, a to téměř výhradně u klonu M6. Po roztátí sněhu však došlo v Průhonicích k napřímení rostlin bez trvalého poškození stébel. V Lukavci nebyla zaznamenána u žádného klonu přes zimní období, na rozdíl od Průhonic, poléhavost stébel.

## 4 ZÁVĚRY

Na základě hodnocení dílčích výsledků vybraného sortimentu klonů ozdobnice je možné vyslovit následující závěry:

- Po dvou letech hodnocení je možné konstatovat, že pokus plní svůj cíl – rozdíly ve sledovaných ukazatelích mezi klony a lokalitami se začínají projevovat.
- Vzcházivost a procento přežívání testovaných klonů, bylo kromě M4 uspokojivé. Průběh zimního počasí však byl velmi příznivý pro přežívání oddenků a mladých rostlin.



3. Mezi testovanými klony *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus* jsou výrazné rozdíly v tvorbě stébel – první mají trsnatý růst s mnoha tenkými stébly a druhé jsou spíše oddenkaté s nižším počtem silných stébel.
4. Průměrný jarní výnos sušiny všech klonů v druhém roce byl 1,6 a 2 t/ha na lokalitě Lukavec resp. Průhonice. V Průhonících byl nejvýnosnější klon M6 (3,5 t/ha) a v Lukavci klon M3 a M5 (2,29 resp. 2,28 t/ha).
5. Rozdíly mezi klony se v hodnocených parametrech a mezi lokalitami zvyšují a jsou již v některých případech statisticky prokazatelné (MP ANOVA). Pro přesnější rozlišení rozdílů mezi klony bude nutné počkat na výsledky získané v dalších letech.
6. Ztráty fytomasy ozdobnice přes druhé zimní období 2008/2009 byly v Lukavci 50–58%, v Průhonících maximálně 24%. Vysoké ztráty biomasy v zimním období v Lukavci mohou být také důvodem celkově nižšího výnosu sušiny na této lokalitě v roce 2009 (jarní sklizeň) oproti Průhonícím.

Ve sledování založených pokusů s ozdobnicí se bude i nadále pokračovat. Do budoucna se plánuje konečné zhodnocení testovaného sortimentu včetně zdravotního stavu, výnosového potenciálu, z hlediska technických, palivářských vlastností a také z hlediska ochrany přírody. Nově získané výsledky budou publikovány.

#### Poděkování

Tyto výsledky byly získány a zpracovány s finančním příspěvkem výzkumného projektu MŠMT 2B06131.

#### LITERATURA

- Bullard, M. J., (1994): The comparative physiology of *Miscanthus sinensis*, *Triticum aestivum* and *Zea mays* grown under UK conditions. In European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Book of Abstracts from International Conference. Vienna-Austria, October 1994, p. 197–198.
- Clifton-Brown, J. C., Lewandowski, I., Andersson, B., Basch, G., Christian, D. G., Kjeldsen, J. B., Jørgensen, U., Mortensen, J. V., Riche, A. B., Schwarz, K. U., Tayebi, K., Teixeira, F. (2001): Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, vol. 93, no. 5, p. 1013–1019.
- Danalatos, N. G., Dalianis, C., Kyritsis, S. (1998): Influence of fertilization and irrigation on the growth and biomass productivity of *Miscanthus sinensis* × *giganteus* under Greek conditions. In Sustainable agriculture for food, energy and industry. Proceedings of the International conference, Braunschweig, Germany, June 1997. James and James (Science publishers) Ltd, London, p. 319–323.
- El Bassam, N. (1994): *Miscanthus* – Stand und Perspektiven in Europa. In Internationale Tagung Energetische Nutzung von Biomasse. Jena, 22.–24. März 1994, p. 201–212.
- Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., Bonari, E. (1999): Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Research*, vol. 63, no. 1, p. 3–11.
- Hartmann, H. (1995): Lagerung, Transport und Umschlag von Halmgütern. Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, vol. 5, p. 63–76.
- Hotz, E., Jodl, S., Kuhn, W. (1998): *Miscanthus* new cultivars and results of research experiments for improving the establishment rate. – In Sustainable agriculture for food, energy and industry. Proceedings of the International Conference held in Braunschweig, Germany, June 1997. James & James Ltd., London, vol. 1, p. 178–183.
- Jørgensen, U. (1993): *Miscanthus* yields in Denmark. In Abstracts from 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference and 1<sup>st</sup> European Energy from Biomass Technology Exhibition. 24.–27. June 1996, Copenhagen, Denmark, p. 15.
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., Huisman, W. (2000): *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, no. 4, p. 209–227.
- Petrini, C., Bazzocchi, R., Bonari, E., Ercoli, L., Masoni, A. (1996): Effect of irrigation and nitrogen supply on biomass production from *Miscanthus* in Northern-Central Italy. *Agricoltura Mediterranea*, vol. 126, no. 3, p. 275–284.
- Schwarz, H., Liebhard, P., Ehrendorfer, K., Ruckebauer, P. (1994): The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* ‘Giganteus’. *Industrial-Crops-and-Products*, vol. 2, no. 3, p. 153–159.
- Stražil, Z. (1999): Production of above-ground biomass in *Miscanthus sinensis* in the Czech Republic. *Rostl. Výr.*, č. 12, s. 539–543.
- Stražil, Z. (2007): Study of *Miscanthus sinensis* – source for energy utilization. – In Proceedings of the International Conference from 15<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition from Research to Market Deployment. Berlin, 7.–11. May 2007, p. 824–827.
- Stražil, Z., Jevič, P. (2006): Ověřování ozdobnice čínské – zdroje fytomasy pro energetické a průmyslové využití. (Verification of miscanthus – pfitomass resource for energy and industrial utilization). – In Sborník referátů z odborné konference „Energetické a průmyslové rostliny XI“. Chomutov 15. 6. 2006, s. 29–37.
- Stražil, Z., Weger, J. (2008): Preliminary zoning of agricultural land for *Miscanthus* (*M. × giganteus*) for the Czech Republic. *Ital. J. Agron.*, vol. 3, no. 3, p. 537–538.
- Schwarz, H., Liebhard, P., Ehrendorfer, K., Ruckebauer, P. (1994): The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* ‘Giganteus’. *Industrial-Crops-and-Products*, vol. 2, no. 3, p. 153–159.
- Schwarz, K. U., Kjeldsen, J. B., Münzer, W., Junge, R. (1998): Low cost establishment and survival of *Miscanthus* × *giganteus*. – In Proceedings from 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition „Biomass for

Energy and Industry“. Würzburg, Germany, 8.–11. June 1998, p. 947–950.

Walsh, M., Mc Carthy, S. (1998): *Miscanthus* handbook. In Proceedings from 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition „Biomass for Energy and Industry“. Würzburg, Germany, 8.–11. June 1998, p. 1071–1074.

Ziegenhogen, B. (1994): Effect of frost temperature on early growth of *Miscanthus* ‘Giganteus’. – In Book of Abstracts of European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Vienna-Austria, October 1994, p. 188.

*Rukopis doručen: 15. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 14. 8. 2009*

# ANALÝZA VLIVU VÝSADEB POROSTŮ RYCHLE ROSTOUCÍCH DŘEVIN NA STRUKTURU KRAJINY – NÁVRH METODY S VYUŽITÍM STARÝCH MAP A LETECKÝCH SNÍMKŮ

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF FAST GROWING WOODY SPECIES PLANTATIONS ON LANDSCAPE STRUCTURE – A METHOD PROPOSAL BASED ON OLD MAPS AND AERIAL PHOTOGRAPHS

Jan Skaloš, Lucia Bendíková

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, skalos@vukoz.cz, jskalos@seznam.cz, bendikova@vukoz.cz

### Abstrakt

Cílem studie je navržení a ověření metody analýzy a hodnocení vlivu výsadeb těchto porostů na diverzitu krajiny. Zájmové území tvoří čtyři modelové plochy ve tvaru čtverce o hraně 500 m. Jedná se jak o území, kde byly realizovány výsadby rychle rostoucích dřevin, tak o plochu, kde byl realizován jiný typ výsadeb, včetně referenční plochy bez výsadeb. Jako zdroj dat byly použity císařské otisky map stabilního katastru z roku 1839 a současné ortofoto letecké snímky z roku 2006. Vývoj struktury krajiny byl kvantifikován pomocí procentické změny vybraných charakteristik mezi roky 2006 a 1839, vztažené k roku 1839. V práci byly sledovány tyto charakteristiky: diverzita krajiny, koeficient ekologické stability, mozaikovitost krajiny, průměrná velikost plošky, maximální a minimální velikost plošky, směrodatná odchylka, relativní hustota okrajů, Shannonův index diverzity a stejnoměrnosti a vážený index tvaru. U sedmi z deseti charakteristik byl zaznamenán totožný nebo relativně shodný vliv výsadeb rychle rostoucích dřevin (RRD) a jiných typů porostů (JTP) na změny dané charakteristiky struktury krajiny, z čehož lze předběžně usuzovat, že výsadby RRD a JTP mají podobný nebo stejný efekt na „diverzitu“ sledovanou v krajinném měřítku. Pokud došlo ke shodě ve vlivu na změny určitých charakteristik struktury krajiny, jednalo se o lokality Kostomlaty JTP a Kyšice RRD. U lokality Libědice, ačkoli se také jedná o výsadby RRD, nebyla shoda zaznamenána.

**Klíčová slova:** struktura krajiny, krajinná metrika, rychle rostoucí dřeviny, staré mapy, letecké snímky

### Abstract

The goal of the study is to design and test the method of analysis, and to evaluate the influence of these stands planting on landscape diversity. The area under investigation is formed by four model sites in the shape of a square with the edge of 500 m. The area where fast growing woody species planting has been realized, the area where different stand type planting has been realized and the reference area without planting, are concerned. The old maps of the Stable Cadastre of 1839 and the present orthophoto aerial photographs of 2006 have been used as a data source. A development of the landscape structures has been calculated as a percentage change of the selected characteristics within the period between 2006 and 1839, related to 1839. In the frame of the study, the following characteristics have been observed: the landscape diversity, the ecological stability index, the landscape patchiness, the average spot size, the maximum and minimum spot size, the standard deviation, the relative density of edges, Shannon diversity index and the regularities and the weighted ratio of shape. At seven out of ten characteristics, an equal or a relatively identical influence of FGW and DST on given landscape structure characteristic has been noticed; on base of this fact it is possible preliminarily suggest that FGW and DST planting have the same or similar influence on the „diversity“ studied within the landscape criteria. The equality in the influence on certain landscape characteristics changes has been observed within the sites of Kostomlaty DST and Kyšice FGW. Within the site of Libědice, the equality has not been registered despite the fact that FGW is concerned.

**Keywords:** landscape structure, landscape metrics, fast growing woody species, old maps, aerial photographs

**Zkratky (abbreviations):** porosty rychle rostoucích dřevin – RRD (fast growing woody species – FGW), jiné typy porostů – JTP (different stand types – DST), bez výsadeb BV (without plantations – WP)

## 1 ÚVOD

Biomasa se dají chápat všechny organismy na Zemi. „Existuje celá řada termínů pro různé formy biomasy podle jejího původu nebo způsobu vzniku, například fytomasa – z produkce rostlin, zoobiomasa – z produkce živočišných organismů a dendromasa – z produkce dřevin“ (Havlíčková et. al., 2005). Rychle rostoucí dřeviny jsou dřeviny a keře, které mají schopnost vysokého výnosu nadzemní biomasy. Jejich růst a zejména objemová produkce (t/ha/rok) v prvních letech nebo

po opakovaném seříznutí výrazně převyšují průměrné hodnoty ostatních dřevin. Pro rychle rostoucí dřeviny považujeme za nadprůměrné výnosy od 8–10 t (suš.)/ha/rok a za vynikající nad 15 t (suš.)/ha/rok (100 % sušiny) v průměru za celou dobu existence plantáže (Havlíčková et al., 2005). Rychle rostoucí dřeviny jsou většinou nenáročné na půdy, ale vyžadují dobré zásobení podzemní a srážkovou vodou. Výsadba porostů rychle rostoucích dřevin jako specifické krajinné složky má vliv na změny krajinné struktury. Vzhledem k tomu,

že lze stav a změny struktury krajiny vyjádřit kvantitativními objektivně měřitelnými veličinami, lze analogicky kvantifikovat vliv výsadeb porostů rychle rostoucích dřevin v krajině. Studium a aplikací statistických indexů a různých kvantitativních charakteristik struktury krajiny při hodnocení stavu a změn struktury krajiny se zabývá tzv. metrika krajiny. Využití těchto ukazatelů je ovšem omezené a silně závislé na řadě specifických faktorů. Změny struktury krajiny lze sledovat jak v čase u jedné lokality (vertikálně), tak horizontálně, tj. v jednom časovém horizontu na více lokalit. Posledně jmenovaný princip bylo použito v případě této studie.

Velké množství různých definic krajiny dokládá nejen její složitou podstatu, ale i velké množství odlišných přístupů k pojetí krajiny. Definice krajiny lze tematicky sdružit do těchto tematických kategorií – krajina jako přírodní systém (např. Míchal, 1994; Forman, Godron, 1993), dále krajina jako životní prostor (např. Gojda, 2000; Vorel, 2004), krajina jako polyfunkční systém (Lipský, 1999), krajina jako hospodářský prostor nebo krajina jako umělecký prostor (Sklenička, 2003). Strukturu krajiny lze chápat jako „rozložení energie, látek a druhů ve vztahu k tvarům, velikostem, počtům, způsobům a k uspořádání krajinných složek a ekosystémů“ (Forman, Gordon, 1993). Nejčastěji se rozlišují tři základní skladební součásti každé krajiny podle Formana a Gordona (1993): krajinná matrix, enklávy a koridory. Cílem měření (hodnocení) změn struktury krajiny je porovnání a následná kvalifikace dat ze dvou či více časových období. Moderní metody typu GIS otevřely možnosti popisu dynamických změn struktury krajiny (Flamm, Turner, 1994). Charakteristiky makrostruktury krajiny lze hodnotit jednak staticky jako stav v určitém časovém horizontu, nebo dynamicky jako dlouhodobý vývoj těchto charakteristik (Drgoňa, 2004). Makrostrukturu krajiny lze kvantifikovat pomocí různých koeficientů, např. pomocí koeficientu ekologické stability (Kes), který vychází z poměru zastoupení ploch relativně stabilních a ploch relativně nestabilních (Míchal, 1985). Může být vypočítán pro libo-

volné území (katastr, povodí, fyzickogeografický region) (Lipský, 1999). Koeficienty však nepodávají informace o propojení jednotlivých ploch využití krajiny a nezabývají se vnitřním prostorovým uspořádáním uvnitř těchto kategorií (Lipský, 2000). Pro popis stavu a sledování vývoje krajinné mikrostruktury (Kyjovský, 1989) se používají různé charakteristiky krajinné mikrostruktury, např.: průměrná velikost plošky, relativní počet plošek, index tvaru plošky, který úzce souvisí s tzv. okrajovým efektem (Forman, Godron, 1993; Patton, 1975; Game, 1980; Bowen, Burgess, 1981), charakteristiky sítí, zejména míra spojitosti sítí, která zásadně ovlivňuje krajinné funkce, zejména pak pohyb živočichů a šíření rostlin v krajině (Lipský, 1999), heterogenita krajiny (Mimra, 1993).

Pro hodnocení struktury krajiny byly odvozeny také statistické indexy (Tuček, 1998; Burrough, 1986; Lillesand, Kiefer, 1994; Nováková et al., 2005). Přehled indexů, které slouží ke zkoumání charakteristik krajiny, závisí na cíli zkoumání, použitém měřítku i použitém modelu pro území (vektorovém nebo rastrovém). Indexy lze vypočítat buď ve vhodném prostředí GIS (ArcView 3.x Spatial Analyst, ArcGis 9, GRASS), nebo použít specifický software vyvinutý pro zkoumání metrik krajiny, např. FRAGSTAT (Fragstats – Landscape Ecology Programme, 2009).

Problematikou kvantifikace krajinných změn s využitím různých charakteristik a statistických indexů v prostředí GIS se zabývala celá řada autorů (Lausch and Herzog, 2002; Milanova et al., 1999; Palmer, 2004; Jordan, 2005; Burrough, 1986; Lillesand and Kiefer, 1994; Farina, 1998; Turner et Gardner, 1991; Lipský, 2000; Sklenička, 2002; Pixová, 2005). Studie, které by se zabývaly konkrétně tématem vlivu výsadeb RRD na změny struktury krajiny z hlediska její metriky, však v podstatě neexistují. Z tohoto důvodu je předkládaná studie z metodického hlediska zcela inovativní. Hlavním cílem práce je: 1) navržení a testování metody pro analýzu a hodnocení vlivu výsadeb RRD a JTP na vybrané kvantitativní charakteristiky struktury krajiny a 2) vzájemné srovnání obou typů výsadeb.

Tab. 1 Srovnání indexů podle sledovaných charakteristik

Skladebná metrika	Uspořádání krajiny	Obecné metricky
Shannonův Index Diversity (Shannon's Diversity Index)	Index průměrného tvaru (Mean Shape Index)	Celková plocha (Total Area)
Simpsonův Index Diversity (Simpson's Diversity Index)	Index krajinných tvarů (Landscape Shape Index)	Počet plošek (Number of Patches)
Modifikovaný Simpsonův Index (Modified Simpson's Diversity Index Diversity)	Index průměrného tvaru vážený plochou (Area-weighted Mean Shape Index)	Průměrná velikost plošek (Mean Patch Size)
Bohatost plošek (Patch Richness)	Fraktální rozměr (Double Log Fractal Dimension)	Celková hrana (Total Edge)
Shannonův Evenness Index (Shannon's Evenness Index)	Průměrný vážený fraktální rozměr plošky (Area-weighted Mean Patch Fractal Dimension)	
Simpson's Evenness Index	Průměrná vzdálenost k nejbližšímu sousedovi (Mean Nearest-Neighbor Distance)	
Modified Simpson's Evenness Index	Index nákazy (Contagion Index)	
Index největší plošky (Largest Patch Index)	Index mezilehlosti/přilehlosti (Interspersion/Juxtaposition Index)	

## 2 STUDOVANÉ ÚZEMÍ

Zájmové území bylo vymezeno formou čtyř modelových ploch ve tvaru čtverce o hraně 500 m. Jedná se o jeden ze standardních způsobů vymezení studovaného území při analýze krajinných změn (Lipský, 1995). V práci byly použity následující typy modelových ploch:

### Území s výsadbami RRD

Jedná se o lokality, kde byly realizovány výsadby rychle rostoucích dřevin. U těchto lokalit bude sledován přímý vliv výsadeb na změny struktury krajiny. Výsledky budou srovnány s výsledky následujících typů území. Mezi tyto lokality patří Unhošť – Kyšice a Libědice.

### Území bez výsadeb RRD

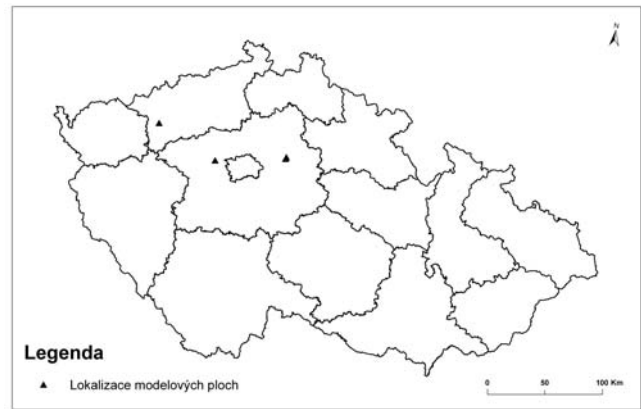
Jedná se o modelové plochy, kde byl realizován jiný typ výsadeb (Kostomlaty JTP) a plochu bez jakýchkoliv výsadeb (Kostomlaty bez výsadeb).

Tab. 2 Základní informace lokalitách (Weger et al., 2004)

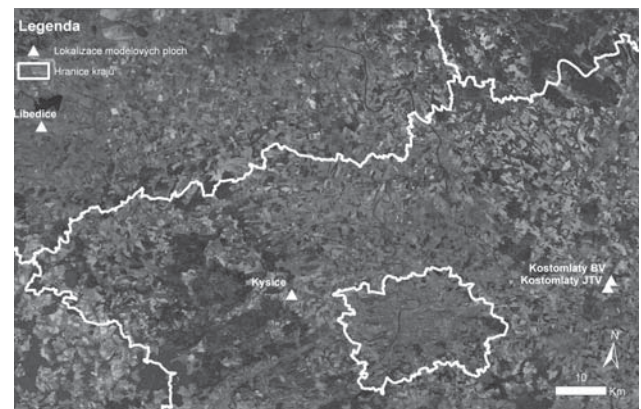
Název lokality	Popis
Unhošť – Kyšice	Lokalizace Z od Prahy a J od Kladna, na okraji vesnice Kyšice, výsadba založena na orné půdě v r. 1996, plocha výsadby 0,75 ha, sortiment tvoří vrby, průměrná roční teplota 1901–1950: 8 °C, průměrné roční srážky 1901–1950: 500 mm, BPEJ: 4.11.00
Libědice	Lokalizace severně od Podbořan, na okraji obce Libědice, výsadba založena na nivní louce v roce 1999, plocha výsadby je 0,15 ha, sortiment tvoří topoly, průměrná roční teplota 1901–1950: 7,5 °C, průměrné roční srážky 1901–1950: 500 mm, BPEJ: 1.60.00

Tab. 3 Základní informace o lokalitách

Název lokality	Popis
Kostomlaty nad Labem JTP (výsadba jiného typu porostu – JTP)	Lokalizace V od Lysé nad Labem, na JV okraji obce Kostomlaty nad Labem, jedná se o hospodářský porost s převahou přirozených druhů lesních dřevin (dub, habr). Lokalita je součástí LPF. Velmi důležitá funkce rekreační, plocha cca 3,5 ha, geologické poměry: hlíny, spraše nebo šterky, pedologické poměry: kvalitní černozemě a hnědozemě, klima: klimatická oblast teplá (T2), průměrná teplota vzduchu za období 1961–1990 byla 8,7 °C. průměrný úhrn srážek za období 1926–1950 činil 548 mm.
Kostomlaty nad Labem (referenční území bez výsadeb)	Modelová plocha je lokalizována SV směrem od obce Kostomlaty nad Labem, v průběhu sledovaného období nebyly v rámci modelové plochy realizovány žádné výsadby a území slouží jako referenční území pro posouzení kvantitativních změn ve struktuře krajiny, ostatní charakteristiky plochy se shodují s předešlou lokalitou.



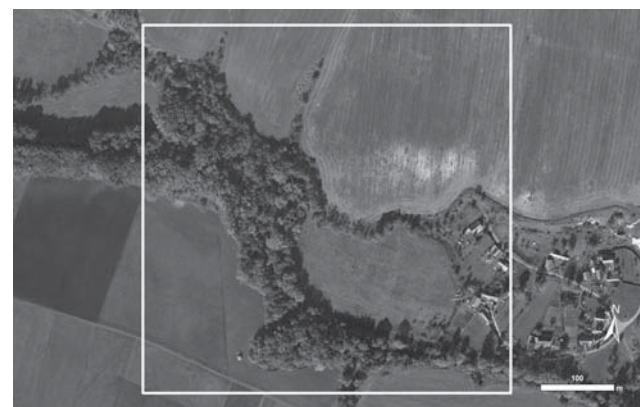
Obr. 1 Lokalizace modelových ploch v rámci České republiky



Obr. 2 Detail lokalizace modelových ploch



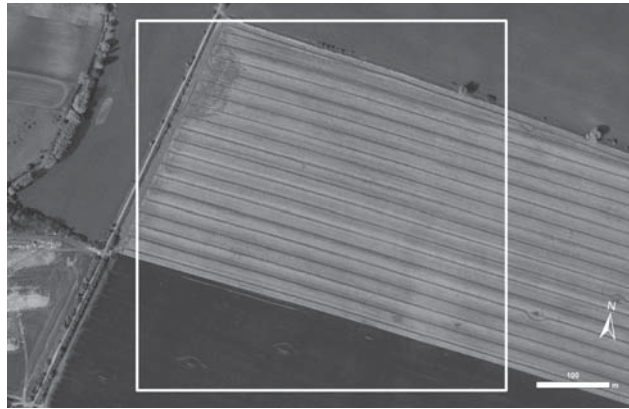
Obr. 3 Modelová plocha Unhošť – Kyšice



Obr. 4 Modelová plocha Libědice



Obr. 5 Modelová plocha Kostomlaty nad Labem – JTP



Obr. 6 Modelová plocha Kostomlaty nad Labem bez výsadeb

### 3 METODIKA

Výsadby dřevinných porostů mají stejně jako jiné druhy lidských činností vliv na změny ve struktuře krajiny. Pomocí vybraného souboru kvantitativních charakteristik byl popsán stav a změny struktury krajiny vybraných modelových lokalit. Tyto lokality zahrnují jak území, kde byly realizovány výsadby RRD (Kyšice, Libědice), tak území s jiným typem porostů (JTP) (Kostomlaty – JTP) a referenční území bez výsadeb (Kostomlaty – bez výsadeb). Změny byly vypočítány jako procentické změny vybraných charakteristik mezi roky 2006 a 1839, vztažené k roku 1839.

#### 3.1 Použité podklady

##### Mapy stabilního katastru z roku 1839

Mapy stabilního katastru byly vyhotoveny mezi lety 1825–1843. Jedná se o soupis všech pozemků na území předlitavské části bývalé habsburské monarchie. Mapy, které byly vyhotoveny pro každé katastrální území, jsou v sáhovém měřítku 1 : 2 880 nebo odvozených měřítcích (1 : 5 760, 1 : 1 440). Díky zhotovení na základě přesných geodetických metod poskytuje přesné údaje na dostatečně podrobné úrovni. Stabilní katastr je považován za základní a mnohdy výchozí mapový podklad využívaný při sledování vývoje krajiny (Semotánová, 2002; Trpák, Trpáková, 2002).

##### Současné ortofoto letecké snímky z roku 2006

Současné letecké snímky z období 2004–2006 jsou přístup-

né on-line na geoportálu CENIA (2007). V dobrém rozlišení a ideální kombinaci jasu a kontrastu poskytují kvalitní zdroj informací o struktuře krajiny, charakteru, rozsahu a distribuci jednotlivých mapovacích jednotek land use, i o dalších charakteristikách krajinné mikrostruktury.

#### 3.2 Klasifikační stupnice typů land cover

Ve studii je aplikován krajinně ekologický přístup v pojetí krajiny jako heterogenního systému složeného „ze souboru vzájemně se ovlivňujících ekosystémů, který se v dané části povrchu v podobných formách opakuje“ (Forman, Godron, 1993). Z tohoto důvodu jsou jak porosty rychle rostoucích dřevin, tak i jiné typy porostů chápány jako standardní krajinné složky, jejichž stav a změny v čase lze popsat pomocí vybraných charakteristik. Ve studii se rozlišují následující typy krajinných složek:

- Dřevinné porosty (porosty rychle rostoucích dřevin – RRD, a jiné typy porostů – JTP).
- Sledované typy land cover (zastavěné plochy, ostatní plochy, hlavní komunikace, polní cesty, orná půda, trvalé travní porosty, vodní plochy, doprovodná zeleň, rozptýlená zeleň).

#### 3.3 Sledované charakteristiky

Pro každou charakteristiku jsou uváděny 1) hodnoty v jednotlivých letech a 2) hodnota změna charakteristiky v % oproti hodnotě v roce 1839. Pro každou modelovou plochu v roce 1839 a 2006 byly počítány níže uvedené charakteristiky (Fragstats – Landscape Ecology Programme, 2009).

## 4 VÝSLEDKY

### Diverzita krajiny

Efekt výsadby porostů RRD a JTP na změny v počtu typů land use je shodně pozitivní – u obou lokalit došlo ke zvýšení o více než 160 % oproti hodnotám v roce 1839. Tento nárůst je větší než u referenční lokality Kostomlaty bez výsadeb.

### Koeficient ekologické stability Kes (Míchal, 1985)

V grafech 1 a 2 je patrné, že vliv výsadeb RRD a JTP je diametrálně odlišný. Zatímco výsadba ploch RRD měla vliv na snížení koeficientu ekologické stability, výsadby jiných typů porostů, které byly zařazeny mezi relativně ekologicky stabilní ekosystémy, způsobily zvýšení Kes.

### Relativní počet plošek (mozaikovitost krajiny)

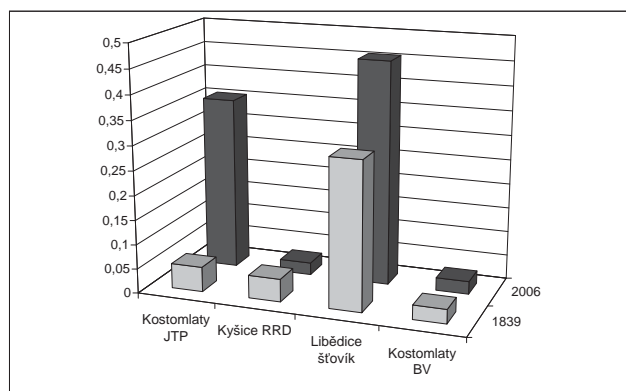
Kromě modelové plochy Kostomlaty s výsadbou jiného typu výsadeb došlo ke snížení mozaikovitosti. Nejméně se snížila mozaikovitost u plochy Kyšice s výsadbou RRD.

### Průměrná velikost plošky

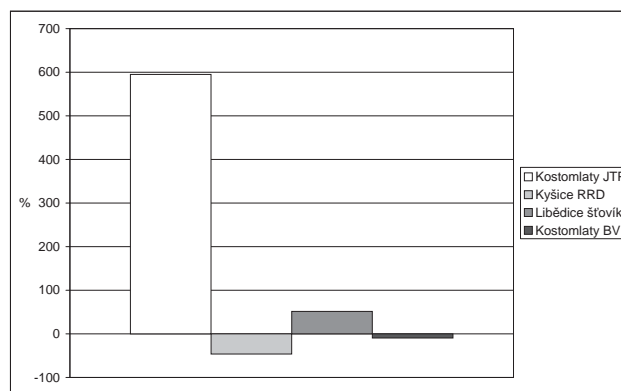
Změny ve vývoji průměrné velikosti plošek mají opačný trend než vývoj mozaikovitosti. Od roku 1839 do současnosti byl u všech modelových ploch kromě Kostomlat s jiným typem výsadby zaznamenán nárůst (u lokality Kostomlaty bez výsadby až o 280 %).

Tab. 4 Sledované charakteristiky

Název charakteristiky	Zkratka	Jednotky	Popis
Diverzita krajiny	D	No.	Počet různých typů využití krajiny – land use.
Koeficient ekologické stability (Míchal, 1985)	Kes	-	Vyjadřuje poměr plochy ekologicky relativně stabilních typů land use k nestabilním typům land use.
Mozaikovitost krajiny	Q	No. ha <sup>-1</sup>	Počet všech typů plošek na jednotku plochy.
Průměrná velikost plošky	MPS	ha	Jedná se o průměrnou hodnotu statistického souboru dané charakteristiky v rámci modelové plochy.
Maximální a minimální velikost plošky	Pmin, Pmax	ha	Vyjadřuje maximální a minimální hodnotu charakteristiky v rámci statistického souboru pro danou modelovou plochu.
Směrodatná odchylka	SD	ha	
Relativní hustota okrajů	ED	m. ha <sup>-1</sup>	Vyjadřuje délku okrajů všech typů plošek na jednotku plochy studovaného území.
Shannonův index diversity	SDI	-	Vyjadřuje relativní míru diversity krajinných plošek. Index je roven nule, pokud je ve sledovaném území pouze jedna ploška, a roste s rostoucím počtem typů plošek nebo jejich zastoupením.
Shannonův index stejnoměrnosti	SEI	-	Index vyjadřuje míru rozložení plošek v prostoru a jejich početnosti. Index je roven nule, pokud jsou krajinné plošky rozmístěny nerovnoměrně, a blíží se jedné, pokud je rozmístění plošek ve sledované lokalitě více rovnoměrné.
Vážený index tvaru	AWMSI	-	Index vyjadřuje míru složitosti tvaru plošek. Je roven 1, pokud mají všechny plošky kruhový tvar, a roste s rostoucí nepravidelností tvaru plošek. Vzhledem k tomu, že větší plošky mají větší potenciál pro nepravidelný tvar a došlo by ke zkreslení výsledků, je používána korekce na velikost plošek.



Graf 1 Vývoj koeficientu ekologické stability Kes (Míchal, 1985)



Graf 2 Změny koeficientu ekologické stability Kes (Míchal, 1985) v % oproti roku 1839

### Maximální velikost plošky

Hodnoty maximální velikosti plošky do určité míry přímo úměrně odráží míru intenzity využití krajiny. U všech modelových ploch došlo ke zvýšení maximální velikosti plošky v souboru. Minimální nárůst byl zaznamenán u lokality Kostomlaty JTP.

### Minimální velikost plošky

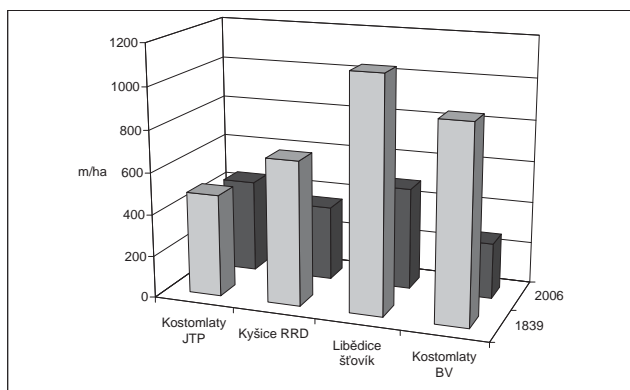
Vývoj hodnot minimální velikosti plošky nepřímo úměrně odráží změny v intenzitě využití krajiny. Pouze u lokality Kostomlaty JTP došlo ke zvýšení hodnot minimální velikosti plošky, u ostatních lokalit došlo ke snížení.

### Směrodatná odchylka

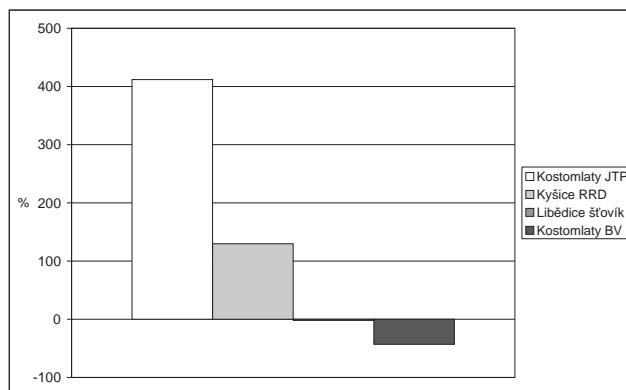
Vývoj hodnot směrodatné odchylky má podobný trend jako vývoj průměrné nebo maximální velikosti plošek. Kromě lokality Kostomlaty JTP došlo ke zvýšení hodnot směrodatné odchylky.

### Relativní hustota okrajů

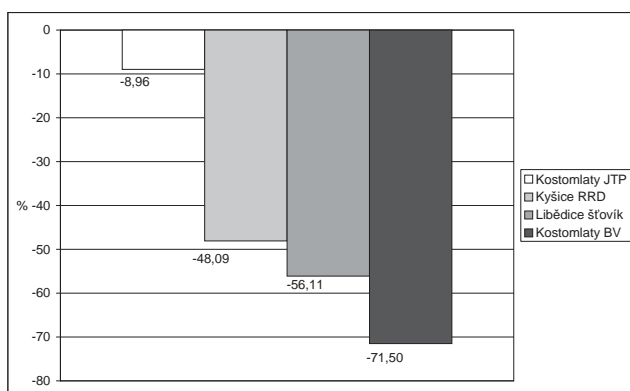
V průběhu sledovaného období došlo ke snížení délky okrajů v krajině u všech modelových ploch, nejméně u lokality Kostomlaty s výsadbou jiného typu porostu než jsou rychle rostoucí dřeviny. K největší redukci došlo u plochy Kostomlaty bez výsadby.



Graf 3 Vývoj relativní délky okrajů



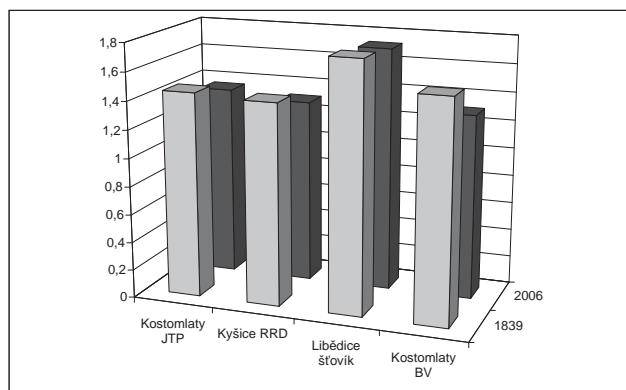
Graf 6 Změny ve vývoji Shannonova indexu diverzity



Graf 4 Změny ve vývoji relativní délky okrajů

### Vážený index tvaru

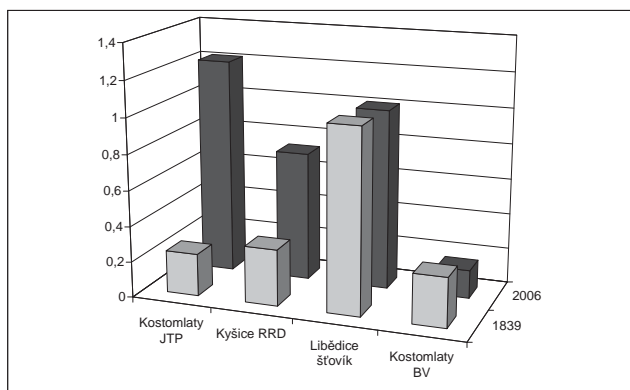
S ohledem na hodnoty tohoto indexu došlo u všech modelových lokalit k přiblížení k více pravidelnému tvaru krajinných elementů. Nejvíce u lokality Kostomlaty bez výsadeb, ale také u lokality s výsadbami JTP a RRD.



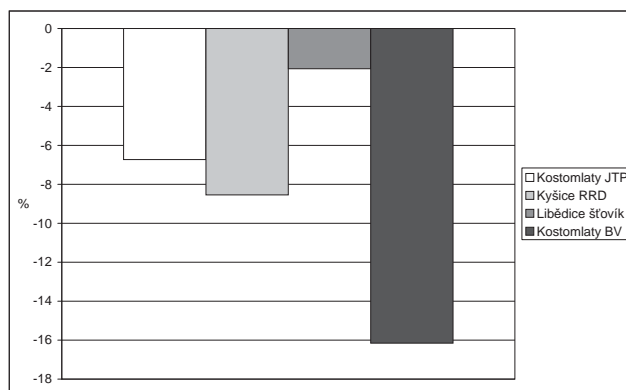
Graf 7 Vývoj hodnot indexu váženého tvaru plošek

### Shannonův index diverzity

Ke zvýšení Shannonova indexu diverzity došlo pouze u lokalit Kostomlaty JTP a Kyšice RRD; k největšímu poklesu diverzity krajiny vyjádřené pomocí Shannonova indexu diverzity došlo u lokality, kde bylo v období 1839–2006 zaznamenáno značné zjednodušení krajinné mozaiky.



Graf 5 Vývoj hodnot Shannonova indexu diverzity



Graf 8 Změny ve vývoji idenxu váženého tvaru plošky

### Shannonův index stejnoměrnosti

V průběhu sledovaného období vzrostla míra stejnoměrného rozložení plošek v prostoru, a to nejvíce u plochy s výsadbou jiného typu porostu a rovněž u lokality Kyšice s výsadbou RRD. U ostatních lokalit je distribuce plošek ve sledovaném území méně pravidelná, nejméně u lokality Kostomlaty bez výsadeb.

## 5 DISKUZE

### 5.1 Diskuze k výsledkům

#### Diverzita krajiny

U obou lokalit – jak s výsadbami RRD, tak u jiných typů porostů – došlo ke zvýšení počtu typů land use shodně o více než



160 %. Efekt výsadby RRD a jiných typů výsadby na zvýšení počtu druhů land use je tedy totožný.

### Koeficient ekologické stability (Míchal, 1985)

V případě koeficientu ekologické stability je vliv výsadby přírodně blízkých dřevinných porostů jednoznačný ve prospěch zvýšení ekologické stability krajiny, a to zejména díky charakteru daných porostů. Výsadby RRD jsou totiž tvořeny převážně porosty nepůvodních dřevin, které nelze řadit mezi ekologicky relativně stabilní ekosystémy. Nicméně toto hodnocení platí pouze v tomto případě. Pokud RRD tvoří autochtonní dřeviny vytvářející přirozené porosty, lze je řadit mezi ekologicky relativně stabilní plochy, které mají adekvátní pozitivní vliv na ekologickou stabilitu krajiny. Vliv výsadby RRD a JTP je odlišný.

### Mozaikovitost krajiny

Mozaikovitost modelové plochy Kostomlaty JTP s plochou přirozeného lesního porostu se na rozdíl od ostatních ploch zvýšila, což je vzhledem k obecnému trendu změn struktury krajiny po druhé světové válce v českých zemích (Lipský, 2000; Sklenička, 2003), směřujícího k homogenizaci krajinné mozaiky a snižování mozaikovitosti, překvapující. Může to být způsobeno tím, že mozaikovitost krajiny dané modelové plochy nebyla ani v roce 1839 příliš vysoká ani ve srovnání s ostatními plochami a jinými územími. Dalším vlivem mohla být samotná výsadba lesního porostu. V úvahu je nutné vzít i rozdílný charakter podkladů, kdy jsou používány jednak mapy stabilního katastru, jednak letecké snímky. Kvalita zjišťovaných dat u mapových podkladů a leteckých snímků je odlišná, což může mít vliv na vypočtené charakteristiky. Ačkoliv se u plochy Kyšice RRD mozaikovitost snížila, lze vidět, že na rozdíl od ostatních modelových ploch výsadby JTP a RRD snižování mozaikovitosti „brzdí“. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný, ale podobný ve srovnání s ostatními plochami.

### Průměrná velikost plošky

Hodnocení vlivu výsadby RRD a JTP v případě průměrné velikosti plošky je podobné jako u mozaikovitosti, pouze s tím, že vývoj má opačný trend. Zatímco obecným trendem vývoje

krajiny v ČR, v tomto případě shodným s lokalitami Libědice a Kostomlaty bez výsadby, je zvyšování průměrné velikosti plošky, u modelové plochy Kostomlaty JTP došlo ke snížení této hodnoty a u plochy Kyšice RRD jen k nepatrnému zvýšení. Tuto skutečnost ovlivňují stejné faktory jako u předešlé charakteristiky. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný, ale podobný ve srovnání s ostatními plochami.

### Maximální a minimální velikost plošky

Plocha maximální velikosti plošky do značné míry odráží míru intenzity využití krajiny člověkem a obecně roste po roce 1945 (Skaloš, 2006). Tato hodnota vzrostla u všech modelových ploch, pouze u lokality s jiným typem výsadby než jsou RRD došlo ve srovnání s ostatními lokalitami k minimálnímu nárůstu. Vývoj plochy minimální velikosti plošky souvisí jak s procesy intenzifikace zemědělské výroby, tak i s fragmentací krajiny (Sklenička, 2002). U všech lokalit kromě Kostomlat JTP došlo ke snížení velikosti minimální velikosti plošky. Vedle stavu krajiny v roce 1839 a rozdílné povahy podkladů může mít na tento jev vliv výsadba přirozeného lesního porostu na jižním okraji obce Kostomlaty. Statisticky toto tvrzení zatím nebylo nicméně prokázáno a bude to předmětem dalšího výzkumu. Vliv výsadby RRD a JTP je odlišný.

### Směrodatná odchylka

Změny ve vývoji směrodatné odchylky jako jednoho z velmi důležitých parametrů statistických souborů jsou téměř totožné jako u průměrné velikosti plošky. Vedle stavu krajiny v roce 1839 u lokality Kostomlaty JTP a rozdílné kvality podkladů je možný i vliv výsadby JTP. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný.

### Relativní hustota okrajů

U všech lokalit došlo ke snížení celkové délky okrajů krajinných složek. U lokality Kostomlaty JTP je tento pokles minimální s ohledem na ostatní modelové plochy. Vedle stavu krajiny v roce 1839 u lokality Kostomlaty JTP a rozdílné kvality podkladů je možný i vliv výsadby JTP a RRD. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný, ale podobný ve srovnání s ostatními plochami.

Tab. 5 Souhrn porovnání vlivu výsadby RRD a JTP

Název charakteristiky	Vliv výsadby RRD a JTP na změny dané charakteristiky (totožný/odlišný)
Diverzita krajiny	Totožný
Koeficient ekologické stability	Odlišný
Mozaikovitost krajiny	Totožný
Průměrná velikost plošky	Totožný
Maximální a minimální velikost plošky	Odlišný
Směrodatná odchylka	Odlišný
Relativní hustota okrajů	Totožný
Shannonův index diverzity	Totožný
Shannonův index stejnoměrnosti	Totožný
Vážený index tvaru	Totožný

### Shannonův index diverzity

U této charakteristiky je vliv RRD a JTP zcela jednoznačný. Výsadby obou typů porostu měly za následek zvýšení diverzity krajiny modelových ploch měřené pomocí SDI. U ostatních modelových lokalit došlo ke snížení indexu diverzity. U lokality Kyšice RRD došlo v absolutních hodnotách k menšímu zvýšení než u lokality Kostomlaty JTP. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný, ale podobný ve srovnání s ostatními plochami.

### Shannonův index stejnoměrnosti

Vypočtené hodnoty dokládají, že výsadby RRD a JTP mají obdobně pozitivní vliv na zvýšení indexu SEI, tedy zvýšení míry rovnoměrnosti rozložení plošek v krajině. V absolutních hodnotách se sice obě lokality liší, ale obě mají podobný vývoj ve srovnání s ostatními lokalitami. Stejně jako u předchozích charakteristik nebylo toto tvrzení zatím statisticky prokázáno, což se stane předmětem dalšího výzkumu. Vliv výsadby RRD a JTP je v absolutních hodnotách odlišný, ale podobný ve srovnání s ostatními plochami.

### Vážený index tvaru

Hodnoty váženého indexu tvaru se snížily u všech sledovaných lokalit a lze tedy tvrdit, že vývoj krajiny charakteristický mimo jiné homogenizací krajiny vlivem intenzifikace směřuje k vytváření pravidelných tvarů. Vliv výsadby RRD a JTP má v absolutních hodnotách podobný efekt na změny váženého indexu tvaru.

## 5.2 Diskuze k použitým charakteristikám

V oblasti krajinné metriky existuje velké množství různých kvantitativních charakteristik, které popisují stav a vývoj krajinné struktury (McGarigal, Marks, 1995; Ritters et al., 1995; Pixová, 2005). Jejich použití je závislé na cílech daných studií a specifických podmínkách, za kterých jsou dané charakteristiky aplikovány. Výběr charakteristik u této práce není vyčerpávající, a je do značné míry subjektivní. Testování dalších ukazatelů krajinné metriky bude předmětem dalšího výzkumu.

## 5.3 Diskuze k volbě modelových lokalit

Vedle klasického způsobu vymezení zájmového území, tak jak je aplikován např. u tzv. minimálních areálů ve fytoceologii (Moravec, 1994), existují v oblasti problematiky sledování změn v krajině specifické způsoby delimitace studijního území. Od sledování změn krajiny celých ostrovů (Hellstrom, 2002) po jednotlivá katastrální území (např. Skaloš, 2006; Sklenička, 2002), až po specificky vymezené modelové čtverce (Lipský, 1995). Každý ze způsobů má své výhody a nevýhody a při aplikaci dané metody vymezení zájmového území je nutné zohlednit cíl studia a konkrétní specifické podmínky, za kterých je výzkum realizován. Pro účely této studie bylo zájmové území vymezeno pomocí modelových čtverců dle Lipského (1995). Výhodou tohoto postupu je vysoká „citlivost“ charakteristik vůči změnám struktury krajiny zejména díky menší rozloze území (25 ha). Nevýhodou je menší reprezentativnost výsledků. Předmětem dalšího studia bude proto testová-

ní dané metody v podmínkách dalších typů zájmového území (katastrální území) a také výběr dalších vhodných lokalit. Pokud došlo ke shodě ve vlivu na změny určitých charakteristik struktury krajiny, jednalo se o lokality Kostomlaty JTP a Kyšice RRD. U lokality Libědice, ačkoli se také jedná o výsadby RRD, nebyla shoda zaznamenána. Je to způsobeno pravděpodobně tím, že plocha výsadby RRD u Libědic je příliš malá a obklopená dalšími typy porostů (les, doprovodná vegetace vodního toku). V rámci modelové plochy tak změny ostatních krajinných složek „stíní“ při sledování efektu výsadby RRD na této ploše.

Navržená metoda byla testována na vybraném základním souboru modelových ploch, které jsou představeny v kapitole zájmové území. Je zřejmé, že výběr těchto ploch je značně subjektivní a jedná se pouze o minimální počet lokalit reprezentujících plochy s výsadbami rychle rostoucích dřevin (Kyšice RRD, Libědice RRD), jiných typů porostů (Kostomlaty JTP) a referenční plochy bez výsadby (Kostomlaty bez výsadby). Je zřejmé, že bude nutné v budoucnu danou metodu testovat na dalších lokalitách. Stejně tak budou dané výsledky v rámci budoucího výzkumu srovnány s jinými plošně rozsáhlejšími lokalitami, které disponují reprezentativnějšími daty.

## 5.4 Diskuze k použitým podkladům

V úvahu je nutné vzít i rozdílný charakter podkladů, kdy pracujeme jednak s mapovými podklady (mapa stabilního katastru), jednak s leteckými snímky – oba typy podkladu obsahují poněkud odlišný typ informace, což může mít vliv na vypočtené charakteristiky. Např. zatímco mapa zobrazuje vlastnické parcely, z leteckého snímku odečítáme skutečný stav krajiny (hranice krajinných složek, jejich plochu, distribuci v krajině apod.), kdy hranice pozemku na leteckém snímku nemusí být totožné s vlastnickými hranicemi patrnými na mapě. Zjištěné změny jsou tak zkreslovány touto skutečností. Do budoucna bude nutné doplnit používané podklady o historické letecké snímky.

## 6 ZÁVĚRY

- Prezentované výsledky jsou výsledkem testování navrhované metodiky na velmi omezeném vzorku modelových lokalit a výsledky jsou pouze orientační. Hlavní cíl – ověření navrhované metodiky – byl splněn.
- U sedmi z deseti charakteristik byl zaznamenán totožný nebo relativně shodný vliv výsadby RRD a JTP na změny dané charakteristiky struktury krajiny, z čehož lze předběžně usuzovat, že výsadby RRD a jiných typů porostů mají podobný nebo stejný efekt na „diverzitu“ sledovanou v krajinném měřítku.
- Pokud došlo ke shodě ve vlivu na změny určitých charakteristik struktury krajiny, jednalo se o lokality Kostomlaty JTP a Kyšice RRD. U lokality Libědice, ačkoli se také jedná o výsadby RRD, nebyla shoda zaznamenána.
- Výsledky práce prokázaly nutnost dalšího testování navrhované metodiky na nově vymezených modelových lokalitách.

## Poděkování

Výsledky studie byly získány a zpracovány s finančním příspěvkem výzkumného projektu MŠMT 2B06132.

## LITERATURA

- Bowen, G. W., Burgess, R. L. (1981): A Quantitative Analysis of Forest Island Pattern in Selected Ohio Landscapes. Environmental Sciences Division, Publication No. 1719. Oak Ridge, Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, 111 p.
- Burrough, P. A. (1986): Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Oxford University Press, 220 p.
- Drgoňa, V. (2004): Assessment of the landscape use changes in the city of Nitra. *Ekológia*, Bratislava, vol. 23, no. 4, p. 385–392.
- Farina, A. (1998): Principles and methods in landscape ecology. London, Chapman & Hall, 235 p.
- Flamm, R. O., Turner, M. G. (1994): Alternative model formations for a stochastic simulation of landscape change. *Landscape Ecology*, vol. 9, no. 1, p. 37–46.
- Forman, T. T., Godron, M. (1993): Krajinná ekologie. Praha, Academia, 572 s.
- Game, M. (1980): Best shapes for nature reserves. *Nature*, no. 287, p. 630–632.
- Gojda, M. (2000): Archeologie krajiny – vývoj archetypů kulturní krajiny. Praha, Academia, 238 s.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J., Weger, J. (2005): Biomasa jako obnovitelný zdroj energie. Ekonomické a energetické aspekty. *Acta Pruhonicensia*, č. 79, 76 s.
- Hellström, K. (2002): Agricultural Reforms and Policies Reflected in the Farming Landscapes of Hiiumaa from 1850 to 2000. Doctoral thesis. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Landscape Planning.
- Jordan, G., van Rompaey, A., Szilassi, P., Csillag, G., Mannaerts, C., Woldai, T. (2005): Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in the Balaton basin (Hungary). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 108, no. 2, p. 119–133.
- Kyjovský, Š. (1989): Hodnocení změn krajiny Lednicka a Valticka. *Zprávy GgÚ ČSAV*, roč. 26, č. 4, s. 19–35.
- Lausch, A., Herzog, F. (2002): Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, vol. 2, p. 3–15.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (1994): Remote sensing and image interpretation. New York, John Wiley and Sons.
- Lipský, Z. (1995): The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning*, vol. 31, no. 1–3, p. 39–45.
- Lipský, Z. (1999): Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů. Praha, Karolinum, 129 s.
- Lipský, Z. (2000): Sledování změn v kulturní krajině. Kostelec nad Černými lesy, Ústav aplikované ekologie ČZU, 71 s.
- McGarigal, K., Marks, B. J. (1995): Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. Corvallis, Oregon, Oregon State University, 59 p. + Append.
- Milanova, E. V., Lioubimtseva, E. Y., Tcherkashin, P. A., Yanvareva, L. F. (1999): Land use/cover changes in Russia: mapping and GIS. *Land Use Policy*, vol. 16, no. 3, p. 153–159.
- Mimra, M. (1993): Hodnocení prostorové heterogenity. Kandidátská disertační práce. Praha, VŠZ.
- Míchal, I. (1985): Ekologický generel ČSR. Praha, Terplan.
- Míchal, I. (1994): Ekologická stabilita. Brno, Veronica, 276 s.
- Moravec, J. (1994): Analýza a popis rostlinných společenstev. In Moravec, J. [ed.]: *Fytcologie*. Academia, Praha, s. 63–86.
- Nováková, J., Skaloš, J., Kašparová, I. (2006): Krajinná ekologie – skripta ke cvičením. Praha, Česká zemědělská univerzita, 48 s.
- Palmer, F. (2004): Using metrics to predict scenic perception in a changing landscape: Dennis, Massachusetts. *Landscape and Urban Planning*, vol. 69, no. 2–3, p. 201–218.
- Patton, D. R. (1975): A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin*, vol. 3, p. 171–173.
- Pixová, K. (2005): The methods of landscape pattern analysis and their implementation in landscape planning practice in the Czech Republic. PhD. thesis. Prague, Czech University of Agriculture, 122 p.
- Ritters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., Jones, K. B., Jackson, B. L. (1995): A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, vol. 10, no. 1, p. 23–29.
- Semotánová E. (2002): Studium krajiny a srovnávací kartografické prameny. In Němec J. [ed.]: *Krajina 2002. Od poznání k integraci*. Sborník z konference. Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR, s. 63–70.
- Skaloš, J. (2006): Patterns and changes of intensively utilised agricultural landscape in the Czech Republic between 1937 and 2002, aerial photography analysis. *Ekológia*, Bratislava, vol. 25, Suppl. 3, p. 232–248.
- Sklenička, P. (2002): Temporal changes in pattern of one agricultural Bohemian landscape during the period 1938–1998. *Ekológia (Bratislava)*, vol. 21, no. 2, p. 181–191.
- Sklenička, P. (2003): Základy krajinného plánování. Praha, Naděžda Skleničková, 321 s.
- Trpák, P., Trpáková, I. (2002): Analýza funkčnosti krajiny na základě specifických vyhodnocení indikačních skic map a svazků stabilního katastru. In Němec, J. [ed.]: *Krajina 2002. Od poznání k integraci*. Sborník z konference. Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR.

- Tuček, J. (1998): Geografické informační systémy. Principy a praxe. Praha, Computer Press, 424 s.
- Turner, M. G., Gardner, R. H. [eds.] (1991): Quantitative Methods in Landscape Ecology. The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. Ecological Studies, 82, New York, Springer-Verlag, 536 p.
- Vorel, I. (2004): Identita, charakter, ráz a koncepce krajiny. Urbanismus a územní rozvoj, roč. 7, č. 3, samost. příl. Urbanistická koncepce & územní plánování (Sborník semináře, Krnov, 12.–16. dubna 2004), s. 48–50.
- Weger, J., Jech, D., Havlíčková, K., Šír, M., Syrovátka, O. (2004): Výzkum krajinných funkcí cílené produkce biomasy (rychle rostoucími dřevinami), zejména jejich přínosy pro diverzitu a hydroklimatické funkce krajiny. Závěrečná zpráva o řešení projektu, předmět činnosti 024, projekt 0242. In knih. VÚKOZ, Průhonice.

### **Jiné zdroje**

Česká informační agentura životního prostředí (CENIA), ortofoto letecké snímky [online]. [cit. 2009-07-17]. Dostupný na [http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/MapWin.aspx?M\\_Site=cenia&M\\_Lang=cs](http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/MapWin.aspx?M_Site=cenia&M_Lang=cs).

Fragstats - Landscape Ecology Programme [online]. [cit. 2009-07-17]. Dostupný na <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

*Rukopis doručen: 28. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 31. 8. 2009*

# KLIMATICKÁ ÚČINNOST POROSTŮ RYCHLE ROSTOUCÍCH DŘEVIN V KRAJINĚ

## CLIMATIC EFFICIENCY OF SHORT ROTATION COPPICES IN THE LANDSCAPE

Miloslav Šír<sup>1</sup>, Jan Weger<sup>2</sup>, Aleš Vondrka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., Pod Patankou 30/5, 166 12 Praha 6, mil\_sir@yahoo.com

<sup>2</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové náměstí 391, 252 43 Průhonice, weger@vukoz.cz

### Abstrakt

V článku je porovnávána klimatická účinnost porostu rychle rostoucích dřevin (RRD) a travního porostu na dvou stanovištích v rozdílné nadmořské výšce – Průhonice 332 m a Nová Olešná 561 m. Na obou stanovištích se v porostu RRD a na blízké travněné ploše v intervalu 10 minut měří teplota a vlhkost vzduchu ve výšce 0,5 m nad zemí, teplota půdy v hloubce 0,25 m a průměrná vlhkost půdy v kořenové zóně 0,1–0,5 m pod povrchem. Srážky se měří na obou stanovištích nad travním porostem. Bylo zjištěno, že na obou stanovištích porosty RRD ve srovnání s travním porostem: (1) vytváří mikroklima, které snižuje polední teploty přízemní vrstvy vzduchu v porostu v extrémně teplých dnech, (2) snižují rozkolísanost chodu teploty a vlhkosti vzduchu, (3) soustavně snižují teplotu půdy. V nižší nadmořské výšce je klimatická účinnost porostů RRD výraznější než ve vyšší nadmořské výšce. Prokázalo se tak, že výsadba RRD je příznivá z hlediska klimatizace krajiny, protože přispívá ke stabilizaci chodu teplot a vlhkosti vzduchu a snižování teplot půdy více než travní porost.

**Klíčová slova:** rychle rostoucí dřeviny, travní porost, stabilizace klimatu

### Abstract

In this article climatic efficiency of short rotation coppice (SRC) of fast-growing trees and grassland is compared. Two localities in different altitudes were studied – Průhonice at 332 m a. s. l. and Nová Olešná at 561 m a. s. l. Air temperature and humidity at 0,5 m above the ground, soil temperature at 0,25 m below ground and average soil moisture in rooting zone (0,1–0,5 m below ground) have been measured automatically in 10 minutes intervals in grassland and short rotation coppice on both localities. Precipitation has been measured on the grass fields. In both localities it was found that CRP plantation in contrast to the grass field: (1) creates a microclimate which lowers the midday temperatures of near ground air in extreme hot days, (2) lowers temporal variations in the time course of air temperature and humidity, (3) systematically decreases the soil temperature. The climatic efficiency of SRC plantation is greater in the lower elevation (Průhonice) than in the higher elevation (Nová Olešná). It was proved that SRC is more favourable than grassland from the point of climatic efficiency in landscape because it better stabilizes daily course of air temperature and humidity and lowers soil temperature.

**Keywords:** short rotation coppices, grass field, climate stabilization

## 1 ÚVOD

Rostliny se podílejí na vytváření klimatu podstatnou měrou tím, že transpirují, tedy výparem převádějí vodu z půdy do atmosféry. Následkem toho ovlivňují skleníkový efekt atmosféry a množství tepla, které se vyzáří ze zemského povrchu do atmosféry. Oba faktory jsou rozhodující pro lokální a globální cirkulaci atmosféry a spolu s ní i pro přenos tepla a vody na planetě (Pokorný, 2000; Makarieva, Gorshkov, 2007, 2008).

Rostliny reagují na přehřátí slunečním zářením nad určitou optimální teplotou (asi 25 °C) výparem vody (Leuzinger, Körner, 2007; Michaletz, Johnson, 2006; Šír et al., 2009). V době maximálního příkonu tepla ze sluneční radiace se teplota rostlin transpirací snižuje tak, že kolísá okolo střední hodnoty asi 25–27 °C, je-li současně teplota vzduchu nižší než 25 °C. Vzestup teploty rostlin nad teplotou 25–27 °C značí, že transpirační chlazení je nedostatečné.

Buď proto, že není v půdě k dispozici voda, nebo proto, že teplota okolního vzduchu převyšuje 25 °C. K situaci s přehřátým vzduchem dochází zejména tehdy, přinese-li vítr hor-

ký vzduch ohřátý nad rozsáhlými nechlazenými plochami bez vegetace, jakou jsou města, zoraná pole a pouště (Sivakumar, 2007).

V důsledku transpirace se zvětšuje vlhkost vzduchu, což v noci vede ke snížení vyzařování tepla z atmosféry do vesmíru. Tedy se zvětšují noční teploty oproti poměrům bez transpirující vegetace. Ke kondenzaci vodní páry a uvolnění skupenského tepla dochází zpravidla na chladnějších místech. Tímto způsobem se vyrovnávají teplotní rozdíly v čase a prostoru, a tím se vyrovnávají i rozdíly v tlaku vzduchu (Pokorný, 2000). Navíc transpirační chlazení nejen snižuje teplotu atmosféry, ale brání rovněž průniku tepla do půdy. Takto funguje transpirace jako homeostatický mechanismus, který brání vzniku meteorologických a hydrologických extrémů, zvyšuje produkci entropie při výparu vody a zvyšuje hrubou primární produkci fytohmasy (Kleidon et al., 2009; Šír et al., 2008; Tesař et al., 2007). V práci Eliáše a kol. (2000) bylo konstatováno, že regulační děje v listových chladičích (asi 1 mm tlustých) řídí výměnu vody a tepla mezi dvěma nádržemi – porézní půdou a vzduchem – tak, že stabilizují tok tepla a vody v povrchové vrstvě

půdy (asi 1 m) a mezní vrstvě atmosféry (asi 1 km). Znamená to, že o podstatných kvalitách životního prostředí na souších rozhodují zdánlivě efemérní děje probíhající v tenké vrstvě tvořené transpiračními orgány rostlin.

Mezi rostliny s vysokou úrovní transpirace (při dostatku dostupné vody) patří tzv. rychle rostoucí dřeviny (RRD). Tímto termínem se označují dřeviny (botanické druhy, kultivary, přírodní i záměrní kříženci), jejichž růst a zejména objemová produkce vrcholí v již prvních dvou deceniích růstu ( $>10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{rok}$ ) a výrazně tak převyšují průměrné hodnoty ostatních dřevin. Využití RRD – tzn. hlavně topolů a vrb – v české krajině se rozšiřuje. Od původního přírodního rozšíření převážně v lužních porostech a primárních sukcesních stadiích lesa (stromové vegetace) přes krajinnou tvorbu (solitéry, aleje) až k intenzivním hospodářským porostům (lignikultury, silvikultury).

Mezi nejintenzivnější formy pěstování RRD na zemědělské půdě v našich podmínkách patří výmladkové plantáže pro energetickou štěpku, příp. dřevařské nebo papírenské sortimenty. Podle současných energetických strategií (Státní energetická politika, Akční plán biomasy aj.) by rozlohy výmladkových plantáží a dalších energetických plodin měly dosáhnout až 1 mil. ha do roku 2030, což je přibližně  $\frac{1}{4}$  zemědělské půdy.

Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin zakládáné primárně pro produkci biomasy mají velký potenciál využití v multifunkčním zemědělském hospodaření a při zkvalitňování životního prostředí v naší kulturní krajině. V posledních desetiletích se v ČR intenzivně ověřuje vhodnost pěstování výmladkových plantáží RRD z hlediska údržby krajiny a udržitelného rozvoje společnosti (Jech et al., 2003). Mají také silný vliv na hydrologický režim a malý vodní cyklus (Weger, Šír, Syrovátka, 2003).

V článku porovnáváme klimatickou účinnost rychle rostoucích dřevin a travního porostu na dvou experimentálních stanovištích v rozdílné nadmořské výšce – Průhonice 332 m a Nová Olešná 561 m. Cílem je ověřit myšlenku, že záměna travního porostu za porost RRD povede ke stabilizaci místního klimatu.

## 2 METODIKA

### 2.1 Stanoviště Průhonice

Plantáž RRD se nachází v katastru obce Průhonice. Monitorovací stanice je umístěna v poloze  $49^{\circ}59'28,29'' \text{ N}$ ,  $14^{\circ}34'37,33'' \text{ E}$  ve výšce 332 m n. m. Z hlediska klimatického se jedná o oblast mírně teplou  $B_2$ , charakterizovanou ve vegetačním období duben až říjen průměrnou teplotou vzduchu  $15^{\circ}\text{C}$  a průměrným srážkovým úhrnem 350 mm. Porost RRD je tvořen směsí vybraných klonů vrb a topolů. Výška porostu dosahovala v sledovaném období 7,5 metru. Porost RRD je plně zapojený. Travní porost nebyl ve sledovaném období sečen a měl výšku asi 30 cm.

### 2.2 Stanoviště Nová Olešná

Plantáž RRD se nachází v katastru obce Nová Olešná asi 28 km východně od Jindřichova Hradce. Monitorovací stanice je umístěna v poloze  $49^{\circ}10'23,77'' \text{ N}$ ,  $15^{\circ}09'37,66'' \text{ E}$  ve výšce

561 m n. m. Z hlediska klimatického se jedná o oblast mírně teplou  $B_4$ , charakterizovanou ve vegetačním období duben až říjen průměrnou teplotou vzduchu  $11^{\circ}\text{C}$  a průměrným srážkovým úhrnem 400 mm. Porost RRD je tvořen směsí vybraných klonů vrb a topolů. Výška porostu dosahovala v sledovaném období 7,5 metru. Porost RRD je plně zapojený. Travní porost nebyl stejně jako v Průhonicích sečen a měl výšku asi 30 cm.

### 2.3 Metody

Na experimentálních stanovištích jsou nainstalovány monitorovací stanice firmy Fiedler-Mágr (<http://www.fiedler-magr.cz/cs>), které měří v intervalu 10 minut v porostu RRD a na blízké zatravněné ploše teplotu a vlhkost vzduchu ve výšce 0,5 m nad zemí, teplotu půdy v hloubce 0,25 m a průměrnou vlhkost půdy v kořenové zóně 0,1–0,5 m pod povrchem. Intenzita srážek se měří na ploše s travním porostem. Uvedené parametry byly hodnoceny v období 20. 6.–9. 7. 2009.

## 3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Po celé sledované období byly porosty RRD zdravé. Travní porosty byly zelené a nevykazovaly známky zaschnutí. Panovalo teplé až horké počasí s častými přívalemými srážkami. Obrázky 1 a 2 ukazují časový průběh intenzity srážek a kumulativní srážky na obou stanovištích. V Průhonicích byl zaznamenán za 20 dní srážkový úhrn 116 mm a v Nové Olešné 149 mm. Maximální intenzita srážek byla v Průhonicích 15 mm za 10 minut, v Nové Olešné 11 mm za 10 minut.

Průběh teploty vzduchu na obou stanovištích ukazují obr. 3 a 4. Maximální teploty vzduchu na zatravněné ploše dosáhly  $31,3^{\circ}\text{C}$  v Průhonicích a  $32,0^{\circ}\text{C}$  v Nové Olešné. Vývoj teploty půdy ukazují obr. 7 a 8. Relativní vlhkosti vzduchu ukazují obr. 5 a 6. Z nich je zřejmé, že jen ve zcela výjimečně horkých dnech poklesla vlhkost v poledních hodinách pod 50 % na zatravněné ploše a pod 60 % v porostu RRD.

V tabulce 1 jsou souhrnné hodnoty (průměr, standardní odchylka, rozpětí) charakterizující průběh teploty a relativní vlhkosti vzduchu a teploty půdy na experimentálních stanovištích Průhonice a Nová Olešná v období 20. 6.–9. 7. 2009. V sousedních sloupcích jsou konfrontovány hodnoty měřené na ploše porostlé travním porostem (sloupce tráva) a na ploše porostlé RRD (sloupce RRD).

Měření vlhkosti půdy na všech stanovištích prokázalo dostatečnou zásobu půdní vody, takže transpirace porostů nebyla omežována vodním stresem. O vysoké transpiraci porostů svědčí i značná relativní vlhkost vzduchu v poledních hodinách (obr. 5 a 6). V horkých dnech (28. 6.–5. 7., dny 179–186) atakovala teplota vzduchu na zatravněných plochách hranici  $30\text{--}32^{\circ}\text{C}$ , zatímco v porostech RRD se udržovala teplota v rozmezí  $25\text{--}27^{\circ}\text{C}$  (obr. 3 a 4). Horký a vlhký vzduch byl přinášén cyklonou z oblasti Egejského moře. Vstup teplot ke  $32^{\circ}\text{C}$  tudíž neznámí nedostatečnou transpiraci travního porostu. Nižší teplota v porostu RRD je výsledkem toho, že plně zapojený porost vytváří vlastní mikroklima.

Na obou stanovištích jsou maximální denní teploty vzduchu v porostu RRD nižší než nad travním porostem. Naproti tomu

Tab. 1 Teplota a relativní vlhkost vzduchu a teplota půdy na experimentálních stanovištích

Veličina	Charakteristika	Průhonice		Nová Olešná	
		tráva	RRD	tráva	RRD
teplota půdy (°C)	průměr	19,7	17,2	16,0	14,9
	standardní odchylka	1,96	1,73	1,65	1,41
	rozpětí hodnot	7,9	5,9	5,8	4,7
teplota vzduchu (°C)	průměr	18,1	17,2	16,3	15,5
	standardní odchylka	5,03	3,76	4,52	3,65
	rozpětí hodnot	25,3	19,8	26,6	20,5
relativní vlhkost vzduchu (%)	průměr	85,0	91,3	87,8	94,3
	standardní odchylka	13,53	9,36	10,09	7,47
	rozpětí hodnot	57,0	46,0	46,4	33,0

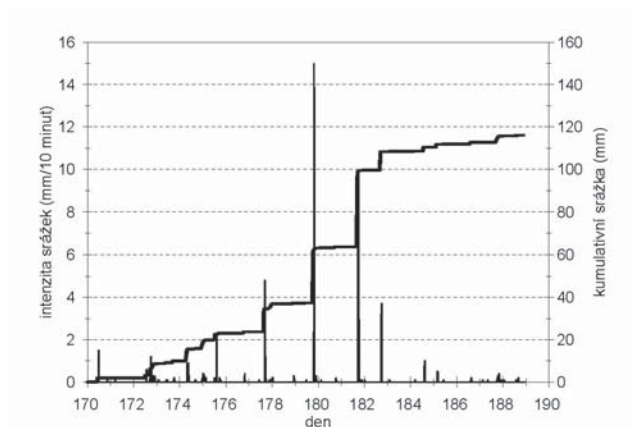
noční minima jsou nižší nad travním porostem než pod porostem RRD. Což znamená, že teploty vzduchu v porostu RRD jsou méně rozkolísané než nad travním porostem (obr. 3 a 4, tab. 1).

Vlhkost vzduchu je na obou stanovištích méně rozkolísaná v porostu RRD než nad travním porostem (obr. 5 a 6). V porostech RRD je polední vlhkost vzduchu asi o 15–20 procentních bodů větší než nad travním porostem.

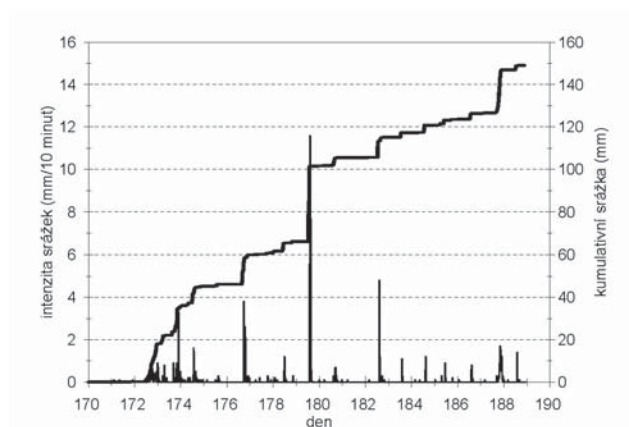
Na obou stanovištích je teplota půdy pod porostem RRD soustavně nižší než pod travním porostem (obr. 7 a 8). Sou-

stavně snížení teploty půdy pod RRD činí asi 2 °C v Průhoncích a 1 °C v Nové Olešné (tab. 1). RRD také značně tlumí amplitudu teplot půdy, jak ukazují tab. 1 ve sloupci rozpětí hodnot.

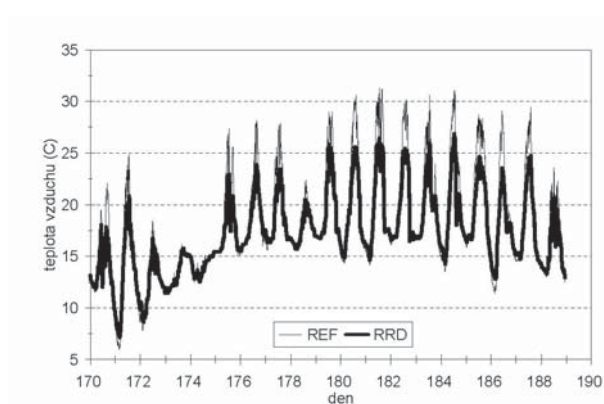
Výsledky jsou v souladu s údaji publikovanými pro lesní a travní porosty (Geiger, 2003; Kellner, 2001; Köstner, 2001; Lee et al., 2004; Yamazaki et al., 2004).



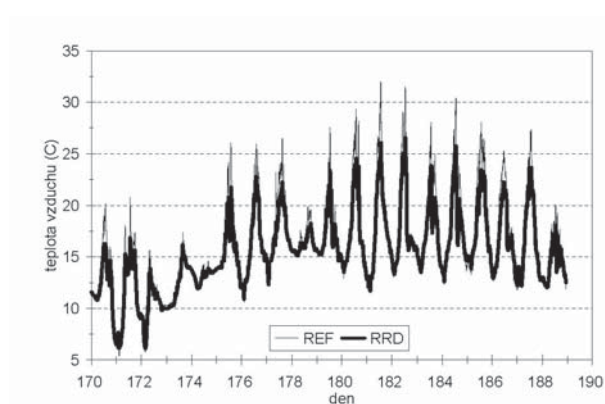
Obr. 1 Časový průběh intenzity srážek a kumulativní srážky v Průhoncích



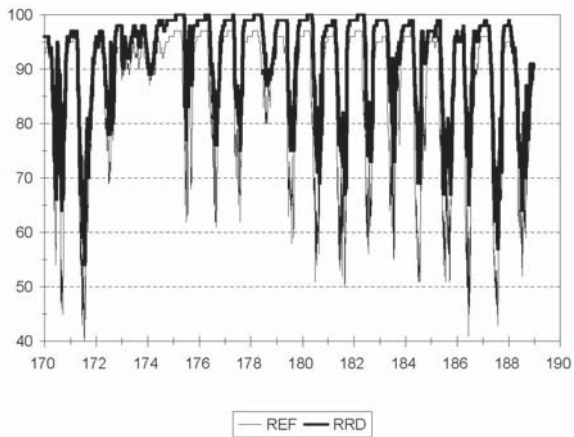
Obr. 2 Časový průběh intenzity srážek a kumulativní srážky v Nové Olešné



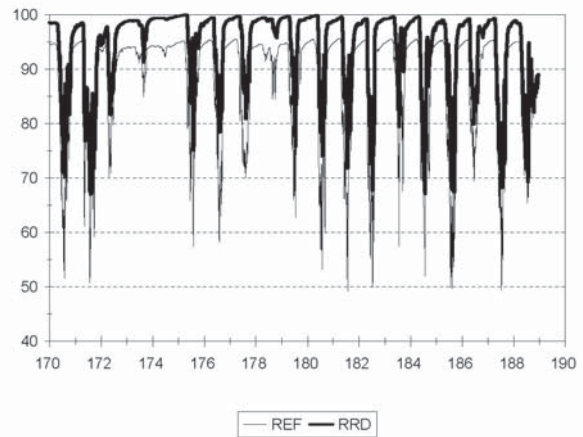
Obr. 3 Časový průběh teploty vzduchu v Průhoncích. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin



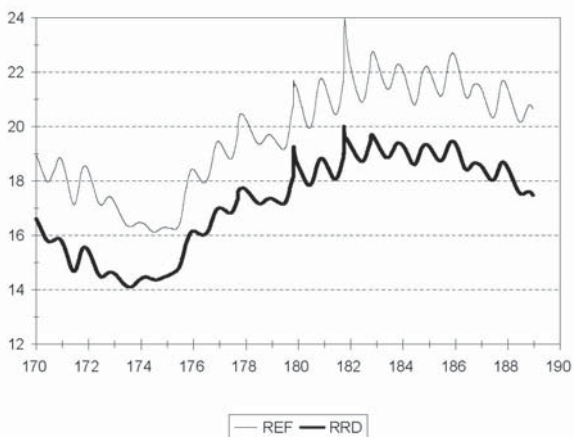
Obr. 4 Časový průběh teploty vzduchu v Nové Olešné. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin



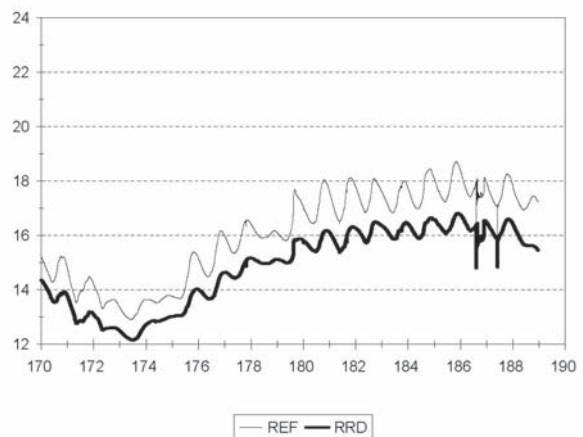
Obr. 5 Časový průběh relativní vlhkosti vzduchu v Průhonících. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin



Obr. 6 Časový průběh relativní vlhkosti v vzduchu Nové Olešné. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin



Obr. 7 Časový průběh teploty půdy v Průhonících. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin



Obr. 8 Časový průběh teploty půdy v Nové Olešné. REF – zatravněná plocha, RRD – porost rychle rostoucích dřevin

## 4 ZÁVĚRY

Klimatický účinek porostů RRD je na obou experimentálních stanovištích ve srovnání s travním porostem charakterizován tím, že:

1. vytváří mikroklima, které snižuje polední teploty přízemní vrstvy vzduchu v porostu v extrémně teplých dnech,
2. snižuje rozkolísanost chodu teploty a vlhkosti vzduchu,
3. soustavně snižuje teplotu půdy.

Měření na obou experimentálních stanovištích prokázalo, že výsadba výmladkových plantáží rychle rostoucích dřevin je příznivá z hlediska klimatizace krajiny, protože přispívá ke stabilizaci chodu teplot a vlhkosti vzduchu a snižování teplot půdy více než travní porost. V nižší nadmořské výšce je klimatická účinnost porostu RRD výraznější než ve vyšší nadmořské výšce. Závěry byly získány v extrémně teplém a srážkově bohatém období v podmínkách dostatečné zásoby půdní vody.

## Poděkování

Práce vznikla při řešení projektu MŠMT 2B06132 a projektu GAČR 205/08/1174.

## LITERATURA

- Eliáš, V., Kubík, F., Lichner, L., Pražák, J., Syrovátka, O., Šír, M. a Tesař, M. (2000): Retenčně evapotranspirační jednotka. In Bucek, J., Tesař, M. [ed.] Hydrologické dny 2000 – Nové podněty a vize pro příští století. s. 299–306.
- Geiger, R., Aron, R. H., Todhunter, P. (2003): The climate near the ground. 6<sup>th</sup> edition. Rowman & Littlefield Publishers, Inc., Lanham, Maryland.
- Jech, D., Havlíčková, K., Weger, J. (2003): Funkce porostů rychle rostoucích dřevin v krajině. In Weger, J. a kol. [ed.] Biomasa – obnovitelný zdroj energie v krajině, 51 s. Osvětová publikace, VÚKOZ, Průhonice.
- Kellner, E. (2001): Surface energy fluxes and control of evapotranspiration from a Swedish *Sphagnum* mire. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 110, p. 101–123.



- Kleidon, A., Schymanski, S., Stieglitz, M. (2009): Thermodynamics, Irreversibility and Optimality in Land Surface Hydrology. Strelcová, K., Matyas, C., Kleidon, A., Lapin, M., Matejka, F., Blazenec, M., Škvarenina, J., Holec, J., [ed.] In *Bioclimatology and Natural Hazards Part II*, p. 107–118. Springer, Netherlands. doi: 10.1007/978-1-4020-8876-6\_9.
- Köstner, B. (2001): Evaporation and transpiration from forests in Central Europe – relevance of patch-level studies for spatial scaling. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 76, p. 69–82.
- Lee, X., Massmann, W., Law, B. [eds.] (2004): *Handbook of micrometeorology: A guide for surface flux measurement and analysis*. Atmospheric and Oceanographic Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Leuzinger, S., Körner, Ch. (2007): Tree species diversity affects canopy leaf temperatures in a mature temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 146, p. 29–37.
- Makarieva, A. M., Gorshkov V. G. (2008): The Forest Biotic Pump of River Basins. *Russian Journal of Ecology*, vol. 39, p. 537–540.
- Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2007): Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 11, p. 1013–1033.
- Michaletz, S. T., Johnson, E. A. (2006): Foliage influences forced convection heat transfer in conifer branches and buds. *New Phytologist*, vol. 170, p. 87–98.
- Pokorný, J. (2000): Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy*, vol. 24, p. 1641–1645.
- Sivakumar, M. V. K. (2007): Interaction between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 142, p. 143–155.
- Šír, M., Lichner, E., Tesař, M., Hallett, P. D., Martinková, M. (2009): Simulation of phytomass productivity based on the optimum temperature for plant growth in a cold climate. *Biologia, Bratislava*, vol. 64, no. 3, p. 615–619, doi:10.2478/s11756-009-0109-4.
- Šír, M., Lichner, E., Tesař, M., Krejča, M., Váchal, J. (2008): Soil water retention and gross primary productivity in the Zábrod area in the Šumava Mts. *Soil & Water Research*, vol. 3 (Special Issue 1), p. S130–S138.
- Tesař, M., Šír, M., Lichner, E., Čermák, J. (2007): Plant transpiration and net entropy exchange on the Earth's surface in a Czech watershed. *Biologia, Bratislava*, vol. 62, no. 5, p. 547–551, doi:10.2478/s11756-007-0108-2.
- Weger, J., Šír, M., Syrovátka, O. (2003): Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin a možnosti jejich vodohospodářského využití v krajině. – In *Sborník konference s mezinárodní účastí Hydrologie v malém povodí*, Praha, UH AVČR, s. 243–249.
- Yamazaki, T., Yabuki, H., Ishii, Y., Ohta, T., Ohata, T. (2004): Water and energy exchange at forest and grassland in eastern Siberia evaluated using a one-dimensional land surface model. *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, p. 504–515.

*Rukopis doručen: 15. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 15. 8. 2009*



# HODNOCENÍ BIODIVERZITY V POROSTECH RYCHLE ROSTOUCÍCH DŘEVIN

## EVALUATION OF BIODIVERSITY IN POPLAR SHORT ROTATION PLANTATIONS

Kamila Havlíčková, Lenka Kašparová

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz, kasparoval@vukoz.cz

### Abstrakt

Článek se věnuje problematice sledování biodiverzity v porostech rychle rostoucích dřevin (RRD). V příspěvku jsou hodnoceny tři porosty s různou délkou obměty a je sledován vztah mezi stářím porostů a jejich biodiverzitou. Hodnocení je prováděno za pomoci námi zvolené epigeické indikační skupiny čeledi střevlíkovití – *Carabidae*. Tato čeleď se dále dělí podle nároků na stanoviště na tři základní skupiny: eurytopní, adaptabilnější a stenotopní. Postupným zapojováním porostu výmladkové plantáže RRD bude docházet ke zlepšování mikroklimatických podmínek porostu výmladkové plantáže RRD a také k postupné migraci adaptabilnějších a stenotopních střevlíkovitých do výmladkové plantáže RRD. Pro dosažení zvolených cílů jsme použili pro odchyt bioindikátorů metodu zemních pastí, která díky smrtící tekutině uvnitř pasti zafixuje napadený hmyz. Jednotlivé sběry byly vyhodnoceny a dále statisticky zpracovány. Byl stanoven Simpsonův index diverzity, Jaccardův index, dominance a rozdělení podle stanovištních nároků na eurytopní, adaptabilnější a stenotopní jedince.

**Klíčová slova:** bioindikátor, rod *Carabus*, biodiverzita, rychle rostoucí dřeviny, výmladková plantáž

### Abstract

This paper deals with the monitoring of biodiversity in plantations of fast-growing trees for energy purposes. The relationship between the age and biodiversity of the three plantations with various harvest rotations is studied. The evaluation is carried out using selected indicator group of ground beetles – *Carabidae*. This family is further divided into three groups according to habitat requirements: eurytopic, adaptable and stenotopic. The gradual migration of and colonization by the adaptable and stenotopic carabids to the short rotation plantations should indicate the improvement of microclimatic conditions in these plantations. Ground traps were used to collect the bioindicators. Individual collections were assessed and statistically evaluated. The Simpson diversity index and Jaccard index were calculated along with dominance. The collected individuals were also divided into eurytopic, adaptable and stenotopic groups.

**Keywords:** bioindicator, genus *Carabus*, biodiversity, fast-growing trees, short rotation coppice

## 1 ÚVOD

Rychle rostoucí dřeviny vytvářejí spolu s bylinným společenstvem zajímavý vegetační pokryv, který tvoří v krajině nová stanoviště a poskytuje tak životní prostor jak obratlovcům, tak bezobratlým živočichům. Porosty rychle rostoucích dřevin chrání půdu před evaporací, přispívají ke stabilizaci odtoků a stabilizují místní klima.

Bezobratlí živočichové patří mezi druhou nejpočetnější skupinu v přírodě. Je to skupina vhodná pro různá ekologická studia, zkoumající nejrůznější vlivy prostředí na jejich společenstva. Z výzkumů vyplývá, že počet bezobratlých se v mírném pásmu na polích pohybuje okolo 1 500–3 000 druhů (New, 2005). Vysoká je také biomasa některých skupin bezobratlých v agroekosystémech, na 1 ha může žít až 50 kg drobných bezobratlých, zejména hlístic (*Nematoda*), a až 20 kg drobných členovců, jako jsou chvostokoci (*Collembola*), roztoči (*Acarina*) a další (Boháč, 2007). Počet dravých druhů bezobratlých v agroekosystémech Velké Británie se odhaduje na 400. Tyto druhy jsou velmi významné pro regulaci tzv. škodlivých druhů. V polních kulturách České republiky se vyskytuje asi 400 druhů drabčků a 100 druhů střevlíků (Boháč, 2007). Dále se v agroekosystémech nacházejí i jiné významné skupiny bezob-

ratlých, jako jsou například stejnonožci (*Isopoda: Oniscidea*), mnohonožky (*Diplopoda*), stonožky (*Chilopoda*) a další, kteří se navzájem ovlivňují a vyvíjejí na určitém biotopu.

Rozvojem zemědělství, zdokonalováním pěstebních postupů, vymýcováním lesního porostu dochází k výraznému poškozování ekosystémů. Kultivace půdy značně ovlivňuje přirozené životní biotopy, dochází k nechtěné izolaci genetických informací a selekci organismů v přírodě. Používáním chemických postřiků se narušuje rovnováha organismů v přírodě, ne vždy postřik zabíjí jen cílené organismy v polních kulturách. Studie se věnuje problematice zvyšování biodiverzity zemědělské krajiny prostřednictvím pěstování výmladkových plantáží RRD pro energetické účely. Vliv na biodiverzitu je sledován za pomoci zvolené indikační skupiny čeledi střevlíkovití (*Carabidae*).

Střevlíkovití brouci (*Carabidae*) tvoří velice obsáhlou a rozmanitou čeleď. Celosvětově je známo na 35 000 druhů. Ve střední Evropě žije více než 600 druhů (Zahradník, 2008). V České republice je zastoupeno 9 podčeledí s více než 600 druhy (Hůrka, 2005). Je to velmi významná čeleď v umělých i přirozených biocenózách. Obývají různá stanoviště od nížin po alpské hranice, od močálů a bažin po stepi a pouště. Najde-

me je v lesích, na polích, na březích vodních toků, na loukách a písčínách, v zahrádách i na ruderalích. Na nezastíněných otevřených stanovištích najdeme některé heliofilní zástupce, kterým nevaří sluneční aktivita. Většina zástupců je aktivních pouze za soumraku a v nočních hodinách. Přes den se ukrývají ve starém listí, pod kameny, pod kůrou nebo v mechu. Lesní zástupci vyžadují polozastíněné až zastíněné lesní biotopy a správné vlhkostní podmínky, které se vyskytují např. ve vlhkých a lužních lesích nebo na zarostlých březích vodních toků. Některé jedince lze najít pouze na kyselých rašeliništích půdách a slaniskách. Střevlíkovité brouky najdeme na stromech, keřích a bylinách i pod kůrou.

Díky své diverzitě a abundanci se významně uplatňují při udržování rovnováhy a koloběhu látek a energie v přírodě. Migrace zvolené skupiny do porostu RRD z přilehlých biotopů a postupné osídlování RRD v závislosti na jejím růstu rostlinné biomasy bude důsledkem příznivějších mikroklimatických podmínek pro zvolenou indikační skupinu.

## 2 MATERIÁL A METODIKA

Pro přesnou indikaci biotopu jsou vhodnými bioindikátory organismy, které se opakovaně při monitoringu nacházejí na určitém biotopu. Indikovaná skupina musí být dostatečně diverzifikovaná, aby její zástupci obývali pokud možno všechny biotopy dané lokality. Musí být dobře identifikovatelná a dobře kvalitativně a kvantitativně zhodnotitelná. Mezi takovéto organismy lze díky značným výzkumům zařadit skupinu epigeických bezobratlých. Studium celého komplexu bezobratlých je velmi náročné, a tak s ohledem na vysokou úroveň taxonomického zpracování a rozsahu znalostí ekologických nároků byla zvolena čeleď střevlíkovití (*Carabidae*), jež tyto podmínky splňuje. Již řadu let slouží jako modelová skupina pro nejrůznější ekologické studie. Výskyt této vybrané skupiny závisí na mnoha abiotických a biotických faktorech, např. vlhkost a charakter vegetace, teplota, sluneční záření, geologický substrát. Důležité je také zmínit antropogenní faktory – např. zemědělství, lesní a vodní hospodářství atd. V neposlední řadě je důležitá migrační schopnost a predace zkoumané skupiny.

Střevlíkovití citlivě reagují na nejrůznější toxické látky (insecticidy, herbicidy) vnašené do biocenóz v souvislosti s bojem se škodlivými organismy, stejně jako nadměrné používání umělých hnojiv. Mnozí střevlíkovití jsou citliví i na změnu pH a především vlhkosti, takže mohou být využiti jako bioindikátory těchto změn prostředí. Souhrnně je možno střevlíkovité označit za významnou skupinu živočichů, která ve vztahu k člověku a jeho činnosti hraje kladnou roli. Jsou tedy užiteční, a to nejen jako predátoři různých, lidské činnosti škodlivých bezobratlých (slimáci – *Mollusca*), ale i možností využití k indikačním účelům v zaznamenávání změn přírodního prostředí, a tím tedy i životního prostředí (Hůrka, 1996).

Čeleď střevlíkovití (*Carabidae*) se podle nároků na stanoviště a antropogenního ovlivnění prostředí rozděluje dle Hůrky (1996) na tři základní skupiny:

- V první skupině **R** jsou stenotopní druhy s nejužší ekologickou valencí. Patří sem i vzácné a ohrožené druhy přirozených, nepříliš poškozených ekosystémů, např. vřesovišť, bažin, rašelinišť, klimaxových lesů atd.

- Skupina **A** slučuje adaptabilnější druhy osídlující méně přirozené nebo přirozenému stavu blízké biotopy. Vyskytují se i na druhotných, dobře regenerovaných biotopech, zvláště v blízkosti původních ploch.
- Třetí skupina **E** sjednocuje eurytopní (kosmopolitní) druhy, které nemají zvláštní nároky na charakter a kvalitu prostředí. Vyskytují se na odlesněných stanovištích, která jsou silně ovlivněná lidskou činností.

Výzkum se zaměřil zejména na druhy adaptabilnější (Hůrka, 1996) – např. střevlík fialový (*Carabus violaceus*), střevlík hájní (*Carabus nemoralis*), úzkohrdlec přizpůsobený (*Platynus assimilis*) atd., osídlující více nebo méně přirozené, nebo přirozenému stavu blízké biotopy. Vyskytují se i na druhotných dobře regenerovaných biotopech, zvláště v blízkosti původních ploch. Pronikáním adaptabilnějších druhů do plantáže RRD bude souviset se zlepšením půdních, vlhkostních a mikroklimatických podmínek na zkoumané ploše výmladkové plantáže.

Na odchyt a sběr bioindikátorů byla zvolena metoda zemních pastí. Zemní pasti slouží pro odchyt sledovaného hmyzu a jiných členovců pohybujících se po povrchu půdy. Výhodou používání zemních pastí je, že fungují jak ve dne, tak v noci, a kvalita i kvantita odchyceného materiálu nezávisí na schopnostech sběratele. Mohou se použít pasti s návnadou nebo bez návnady. Jako návnada se používá kousek masa, sýru, salámu apod. Pomocí zemních pastí získáme informace o kvalitativních a kvantitativních znacích vybrané skupiny živočichů.

Zemní pasti, vytvořené z plastových lahví s odříznutou horní částí, byly naplněny koncentrovaným 5% roztokem formaldehydu a byly zakryty hliníkovou nebo plastovou stříškou, která ochrání past před dešťovými srážkami a částečně před drobnými hlodavci. Pasti jsme zapustili do země a rozmístili na jednotlivé pokusné plochy na vzdálenost 10 metrů od sebe.

Obsah pastí byl pokaždé odebrán do uzavíratelných lahví. Po převozu do laboratoře byl vyčištěn, přebrán a roztríděn. Čeleď střevlíkovití jsme dále podrobně určovali na jednotlivé rody a druhy. Ne vždy je určení jednotlivce jednoznačné, vizuální pohled je mnohdy nedostačující a je nutné ho doplnit mikroskopickým rozbořením. Speciálním entomologickým mikroskopem se můžeme zaměřit na drobné detaily určitých částí zkoumaného těla jedince, např. na krovkách je možné pozorovat množství chloupků, silnější sety nebo porojamky.

Jako bioindikační organismy jsme záměrně vybrali čeleď střevlíkovití – *Carabidae*, protože například z rodu *Carabus* jen nepatrný počet jedinců žije na antropologických půdách, a to přibližně 18 %. Ostatní střevlíkovití jsou úzce vázáni na přirozený biotop se specializovanými podmínkami k jejich životu.

Ekologické studium jsme prováděli na výzkumné ploše v Peklově, v porostu RRD. Lokalita Peklova se nachází ve Středočeském kraji, v nadmořské výšce 350 m, v mírně teplém, suchém regionu s průměrným ročním úhrnem srážek 450–550 mm. Jedná se o hnědé půdy kyselé a jejich slabě oglejené formy na opukách a tvrdých slínovcích, středně těžké s dobrými vláhovými poměry. Porost RRD byl založen v roce 1994, skládá se ze tří menších ploch, které jsou sklizeny v jednoletém, tříletém a šestiletém obmýtí. Všechny tři plochy jsou osázeny topolovým klonem J-105. Na ploše dochází k postupným sklíz-

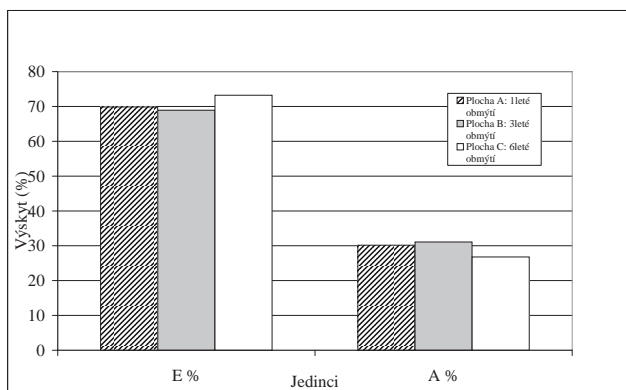
ním. I přes tyto radikálnější zásahy do vegetačního pokryvu poskytují RRD nové stanoviště a životní prostor některým živočichům.

V Peklově bylo v roce 2008 celkem nainstalováno 12 pastí. První linie pastí A<sub>p</sub> byla vedena v porostu s jednoletým obmýtím. Druhá linie pastí B<sub>p</sub> byla nainstalována ve tříletém porostu s tříletým obmýtím. Třetí linie pastí C<sub>p</sub> monitorovala bezobratlé v šestiletém porostu se šestiletým obmýtím. Výběr pastí byl prováděn třikrát v průběhu vegetační sezóny.

### 3 VÝSLEDKY

Biomonitoring bezobratlých na lokalitě Peklov byl zahájen v roce 2006. V roce 2008 bylo odchyceno 2 934 bezobratlých, z toho 13 druhů čeledi *Carabidae* o celkovém počtu 445 jedinců. V grafu 1 jsou procentuálně vyhodnocené celoroční sběry čeledi *Carabidae* za rok 2008. V pastech bloku A<sub>p</sub> bylo zjištěno 69,8 % eurytopních jedinců a 30,2 % adaptabilnějších. Tato čísla nám signalizují porost RRD jako otevřené stanoviště, na kterém se převážně zdržují makropterní jedinci otevřených stanovišť, kteří nemají zvláštní nároky na stanoviště, např. střevlík nárameníkovitý (*Abax parallelepipedus*), zdobník měděný (*Poecilus cupreus*) a kvapník plstnatý (*Pseudophonus rufipes*). V bloku B<sub>p</sub> nastává mírný pokles eurytopních jedinců (68,9 %) ve prospěch adaptabilnějších (31,1 %), např. střevlíček světlooký (*Pterostichus niger*), střevlík hájní (*Carabus nemoralis*) a střevlík zahradní (*Carabus hortensis*), a to díky lepším mikroklimatickým podmínkám a stabilnějšímu prostředí v porostu RRD. V bloku C<sub>p</sub> se opět zvyšuje počet eurytopních jedinců (73,2 %) a klesá počet adaptabilnějších (26,8 %).

Z výsledků vyplývá, že délka obmýti tohoto klonu přímo ovlivňuje složení populace v jednotlivých porostech RRD. V jednoletém porostu je zjištěno nejvíce eurytopních druhů díky otevřenému stanovišti. V šestiletém obmýti opět dochází k nárůstu počtu eurytopních jedinců, který je způsoben změnou klimatických podmínek. Dochází k úplnému zapojení vegetace RRD, což má za následek absenci slunečního záření, zastínění půdního povrchu, nedostatečnost bylinného patra, úbytek herbivorů s následným nižším výskytem predátorů, např. střevlíků, svižníků apod. Tyto změny životních podmínek mohou ovlivňovat výskyt adaptabilnějších druhů čle-



Vysvětlivky: E – eurytopní, A – adaptabilnější

Graf 1 Procentuální výskyt eurytopních a adaptabilnějších druhů v porostech RRD s různou délkou obmýti v roce 2008

di *Carabidae*. Jednotlivé skupiny eurytopních a adaptabilnějších jedinců se od sebe liší v závislosti na délce obmýti.

Pro všechny tři sledované plochy byl proveden výpočet dominance. Na ploše A<sub>p</sub> byl eudominantní střevlíček světlooký (*Pterostichus niger*), dominantní střevlík nárameníkovitý (*Abax parallelepipedus*), střevlík hájní (*Carabus nemoralis*), střevlíček měděný (*Poecilus cupreus*) a kvapník plstnatý (*Pseudophonus rufipes*). Na ploše B<sub>p</sub> byl eudominantním střevlíček světlooký (*Pterostichus niger*), dominantním střevlík nárameníkovitý (*Abax parallelepipedus*). Na ploše C<sub>p</sub> byl eudominantním druhem střevlík nárameníkovitý (*Abax parallelepipedus*) a dominantními druhy byly střevlíček světlooký (*Pterostichus niger*) a střevlík hájní (*Carabus nemoralis*).

Pro porovnání druhové diverzity stanovišť jsme použili Simpsonův index diverzity (Simpson, 1949), který bere v úvahu jak početnost, tak i druhovou bohatost a je dán vzor-

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2}$$

cem (e.g. Begon et al., 1990). Na ploše A<sub>p</sub> byl Simpsonův index diverzity 3,99. Na ploše B<sub>p</sub> měl Simpsonův index diverzity hodnotu 2,77 a na ploše C<sub>p</sub> byla hodnota Simpsonova indexu diverzity 2,93. Z výpočtu vyplývá, že plocha A<sub>p</sub> je druhově nejbohatší a vizuálně má zároveň největší abundanci ze všech tří zkoumaných ploch.

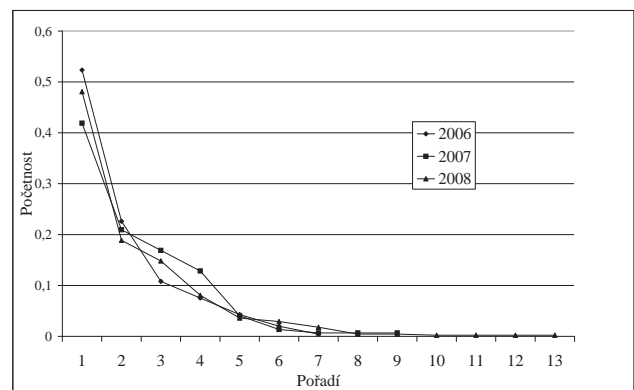
Podobnost druhového složení dvou společenstev byla stanovena na základě Jaccardova indexu, který je dán vzorcem

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

([www.wikipedia.org/wiki/Jaccard\\_index](http://www.wikipedia.org/wiki/Jaccard_index)).

Výpočet Jaccardova indexu vycházel poměrně vyrovnaně. Nejvyšší byl zjištěn mezi plochou A<sub>p</sub> a C<sub>p</sub> a to 50 %. Ostatní indexy mezi A<sub>p</sub> a B<sub>p</sub>, B<sub>p</sub> a C<sub>p</sub> vycházely 45,5 %.

Díky vyhodnocení z předchozích let jsme podrobně porovnávali získaná data za tříleté období. Celkový počet chycených jedinců se měnil, ale v jednoletých obmýtích byl vždy největší výskyt eurytopních jedinců. Ve tříletém obmýti nastal pokles eurytopních jedinců, zvýšil se počet adaptabilnějších. V šestile-



Graf 2 Rozložení početnosti druhů ve společenstvu v jednotlivých letech

tém období nastal opět nárůst eurytopních jedinců a pokles adaptabilních. Stenotopní druhy se nevyskytovaly. I přesto, že dochází k narušování vegetace díky antropologickým zásahům – částečné sklizně v některých letech, čeled *Carabidae* dokáže spolehlivě signalizovat změny v prostředí, ať už světelné či vlhkostní, pozitivní či negativní.

#### 4 DISKUZE A ZÁVĚRY

Výsledky studií na výzkumné ploše Peklov, která je rozdělena na tři části se třemi různými cykly obmýtí, ukazují, že se jedná o plochu s poměrně vyrovnanými společenstvy. Zvýšená biodiverzita je ovlivněna různorodostí vegetace.

Ve většině studií se po vykácení části porostu na mýtinách projevil zvýšení druhového bohatství (Ings & Hartley, 1999; Werner & Raffa, 2001; Koivula, 2002), které bývá vysvětlováno jako důsledek příznivějších mikroklimatických podmínek pro druhy otevřených stanovišť.

Rostlinný pokryv uvnitř výmladkové plantáže (3.–4. rokem) výrazně ovlivňuje populace hmyzu. Také výsledky (Luff, 1966; Sotherton, 1985) ukazují závislost mezi slabým managementem v zemědělských biotopech a pozitivním vlivem na úkryt epigeických bezobratlých.

Opad listů zvyšuje podíl organické hmoty v půdě, což je příznivé pro drobnou půdní faunu bezobratlých, která bývá zdrojem potravy pro větší druhy. Vysoká úroveň půdní biologické aktivity zvyšuje nutriční zásobu dřevinám, snižuje vyplavování živin a napomáhá ochraně proti půdním škůdcům. Dřeviny také poskytují úkryt pro přirozené predátory, jako jsou např. pavouci, ptáci a brouci. Dále přispívají k ochraně před škůdci, a poskytují rozmanité stanoviště pro hnízdění ptactva.

Biodiverzita má na fungování ekosystému stejně velký vliv jako klima nebo půdní podmínky. Dostatečná biologická rozmanitost ekosystémů je základním předpokladem pro stabilitu daného ekosystému s ohledem na současné i předpokládané antropogenní změny přírodních podmínek včetně předpokládaných klimatických změn. Rostoucí biodiverzita zlepšuje kromě produktivity ekosystému i předpověditelnost jeho chování (Plesník & Vačkář, 2005).

#### Poděkování

Tento článek vznikl za finanční podpory výzkumného záměru č. 0002707301 Ministerstva životního prostředí České republiky.

#### LITERATURA

- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1997): Ekologie: jedinci, populace a společenstva. Olomouc, Vydavatelství Univerzity Palackého, s. 611–623.
- Boháč, J. (2003): Střevlíkovití a drabčíkovití (*Coleoptera*, *Carabidae*, *Staphylinidae*) brouci NPR Brouskův mlýn a jejich využití pro monitorování stavu biotopů. In Sborník ze semináře o NPR Brouskův mlýn.

Boháč, J., Moudrý, J., Desetová, L. (2007): Biodiverzita a zemědělství, *Životné prostredie*, roč. 41, č. 1, s. 24–29.

Hůrka, K. (1996): *Carabidae* České a Slovenské republiky/*Carabidae* of the Czech and Slovak Republics. Zlín, Kabourek, s. 15–29.

Hůrka, K. (2005): Brouci České a Slovenské republiky/Beetles of the Czech and Slovak Republics. Zlín, Kabourek, s. 22–38.

Koivula, M. (2002): Alternative harvesting methods and bored carabid beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*). *Forest Ecology and Management*, vol. 167, no. 1–3, p. 103–121.

Ings, T. C. & Hartley, S. E. (1999): The effect of habitat structure on carabid communities during the regeneration of a native Scottish forest, *Forest Ecology and Management* 119, p. 123–136.

Luff, M. L. (1966): The abundance and diversity of beetle fauna of grass tussocks. *Journal of Animal Ecology*, vol. 35, no. 1, p. 189–208.

New, T. R. (2005): *Invertebrate Conservation and Agricultural Ecosystems*. Cambridge, Cambridge University Press, 354 p.

Plesník, J., Vačkář, D. (2005): Biodiverzita a fungování ekosystémů, *Vesmír*, roč. 84, č. 1, s. 32–37.

Sotherton, N. W. (1985): The distribution and abundance of predatory *Coleoptera* overwintering in field boundaries. *Annals of Applied Biology*, vol. 106, no. 1, p. 17–21.

Werner, S. M. & Raffa, K. F. (2003): Seasonal Activity of Adult, Ground-occurring Beetles (*Coleoptera*) in Forests of Northeastern Wisconsin and the Upper Peninsula of Michigan, *American Midland Naturalist*, vol. 149, p. 121–133.

Zahradník, J. (2008): Brouci. Praha, Adventium s.r.o., s. 28–53.

#### Jiné zdroje

[www.wikipedia.org/wiki/Jaccard\\_index](http://www.wikipedia.org/wiki/Jaccard_index)

*Rukopis doručen: 13. 7. 2009*

*Přijato po recenzi: 20. 8. 2009*

# VLIV OPLÁŠTĚNÍ NA BIODIVERZITU VE VÝMLADKOVÉ PLANTÁŽI RYCHLE ROSTOUCÍCH DŘEVIN

## INFLUENCE OF HEDGES ON THE BIODIVERSITY OF SHORT ROTATION COPPICE OF FAST-GROWING TREES

Kamila Havlíčková, Lenka Kašparová, Ivana Rudišová

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz, kasparoval@vukoz.cz

### Abstrakt

Článek se věnuje vlivu opláštění na biodiverzitu ve smíšené topolové (*Populus*) a vrbové (*Salix*) výmladkové plantáži rychle rostoucích dřevin (RRD) v Droužkovicích. Opláštění plantáže RRD je tvořeno směsí domácích stromů a keřů. Volba dřevin vycházela ze znalosti stanoviště a nároků či požadavků dřevin. Pro monitorování diverzity byla zvolena indikační skupina čeled střevlíkovití (*Carabidae*). Tato čeleď je velice dobře probádaná a je často používána pro různá ekologická studia. Její zástupci se objevují na všech lokalitách přírodních i antropologicky ovlivněných a s jejich pomocí můžeme vyhodnotit zkoumanou plochu. Čeleď střevlíkovití se dělí podle nároků na stanoviště a antropogenního ovlivnění prostředí na eurytopní, adaptabilnější a stenotopní jedince. Každoročním hodnocením střevlíkovitých na tyto tři skupiny získáme přesné údaje o předpokládaném nárůstu adaptabilnějších a poklesu eurytopních jedinců, který bude pozitivním odrazem způsobeným nárůstem rostlinné hmoty a zlepšenými mikroklimatickými a vlhkostními podmínkami v plantáži RRD a jejího opláštění. Dále byla vypočítána dominance jednotlivých rodů na zkoumaných plochách. Nakonec byla stanovena podobnost druhového složení dvou společenstev na základě výpočtu Jaccardova indexu.

**Klíčová slova:** čeleď střevlíkovití (*Carabidae*), diverzita, opláštění, rychle rostoucí dřeviny, bezobratlí, eurytopní druh, adaptabilnější druh, zemní pasti, abundance, Jaccardův index

### Abstract

This paper deals with the effect of hedges on the biodiversity in mixed poplar (*Populus*) and willow (*Salix*) short rotation plantations in Droužkovice. Hedges of these plantations contain a mixture of domestic trees and bushes. The selection of woody species stemmed from knowledge of site conditions and the species requirements. Ground beetles (*Carabidae*) were used as a bioindicator group to monitor biodiversity. This family has been well researched and is often used for various ecological studies because they can be found in all natural and anthropogenically influenced sites. The ground beetle family is divided according to site requirements into eurytopic, adaptable and stenotopic. Annual assessment of ground beetles divided into the above-mentioned categories will provide exact data on anticipated increase in the number of adaptable and decrease in the number of eurytopic individuals. This increase or decrease will indicate the positive effect of increased plant biomass and the resulting improvement in microclimatic and moisture conditions in the short rotation plantations and their hedges. Dominance of individual genera found in the researched plantations was also calculated. Similarity of species composition of two communities was determined using the Jaccard index.

**Keywords:** ground beetles (*Carabidae*), biodiversity, hedges, fast-growing trees, invertebrates, eurytopic species, adaptable species, ground traps, abundance, Jaccard index

## 1 ÚVOD

Zemědělské hospodaření prodělalo v posledních desetiletích značné změny, které zásadně ovlivnily nejen krajinný ráz a kvalitu půd, ale i diverzitu a početnost jednotlivých organismů žijících v antropogenní krajině. Sjednocování pozemků, intenzivní obhospodařování výkonnějšími stroji a používání chemických postřiků mělo zásadní dopad na četnost a druhovou rozmanitost rostlinné a živočišné říše. Intenzivním obhospodařováním dochází k častému narušování půdní struktury, ve které je nemožné dlouhodobé přežívání organismů. Nejvíce v ohrožení jsou bezobratlí, např. kroužkovci, členovci a měkkýši. Pěstováním monokultur na pozemcích dochází k vyhybnutí některých původních druhů, snižuje se druhová diverzita společenstev. Na druhé straně pěstování monokultur podporuje přemnožení některých organismů, z lidského hlediska

tzv. škůdců. Používání chemikálií v zemědělských porostech má za následek redukci nejen těchto cílených organismů, ale i ostatních. Narušením biodiverzity dochází ke ztrátě funkčnosti ekosystému.

Druhové bohatství bezobratlých živočichů vysoce převyšuje ostatní organismy. Zároveň patří bezobratlí mezi nejpočetnější skupinu v přírodě. Počet bezobratlých v některých agroekosystémech je vysoký, na 1 ha může žít až 50 kg drobných bezobratlých, zejména hlístic (*Nematoda*) a až 20 kg drobných členovců jako jsou chvostokoci (*Collembola*), roztoči (*Acarina*) a další (Boháč, 2007). Dále v agroekosystémech žijí i jiné významné skupiny bezobratlých, jako jsou například pavouci (*Aranea*), sekáči (*Opiliones*), stejnonožci (*Isopoda*: *Oniscidea*), škvoři (*Dermaptera*), brouci (*Coleoptera*), mezi kterými fungují různé vazby a mezidruhové vztahy, udržující rovnováhu jednotlivých populací v ekosystému. Důležité je zmínit

dravé druhy bezobratlých, v České republice se vyskytuje asi 1 600 druhů drabčků a 600 druhů střevlíků (Boháč, 2003). Z toho se v polních kulturách vyskytuje asi 400 druhů drabčků a 100 druhů střevlíků (Boháč, 1999).

Zakládání opláštění má vliv na zvyšování biodiverzity v krajině. Opláštění může spolu s plantáží RRD plnit jakousi funkci přechodových partií spolu souvisejících biotopů, jako jsou např. okraje lesa, pobřežní partie mokřadů či mělkých vod apod. Vegetace opláštění by měla být stupňovitá, od stromů přes keře do pásma bylin. Křovinaté opláštění může hostit početná společenstva užitečného ptactva a hmyzu, kterým poskytují potravu, úkryt a možnosti vývoje dalších pokolení. Zároveň opláštění pomáhá při pronikání organismů do samotné plantáže RRD.

## 2 MATERIÁL A METODIKA

Lokalita Droužkovice se nachází v Ústeckém kraji, v okrese Chomutov, v nadmořské výšce 359 m, v teplém a suchém regionu s průměrným ročním úhrnem srážek 500 mm. Jedná se o půdy typické černozemě, těžké až velmi těžké v ornici i spodině, hnědozemě i slabě oglejené. Je to území rovinného charakteru s mírným jihovýchodním sklonem. Využití krajiny bylo a je orientováno na zemědělství. Orná půda byla v minulém století sjednocena do velkých celků, pouze kresba vlastnických vztahů napovídá o uspořádání krajiny – vybavení území polními cestami, remízky apod. Nebytí těžby uhlí v daném regionu, bylo by zemědělství jediným potenciálem území. Namísto toho je území ovlivněno zásadně negativním způsobem, a to postupující povrchovou těžbou hnědého uhlí. Ze SZ strany do zájmového území zasahuje dobývací prostor Libouš.

Výmladková plantáž RRD je tvořena směsným porostem rodu *Populus* a *Salix* o rozloze 21,52 ha. Opláštěna je domácími stanovištně vhodnými druhy dřevin. Výmladková plantáž RRD byla založena na jaře 2007 a opláštění bylo založeno na podzim roku 2007. Při volbě dřevin bylo vycházeno ze znalostí stanoviště a nároků či požadavků dřevin. V současnosti je varianty s rozšířenou druhovou skladbou využíváno jen mimořádně, vzhledem k pracnosti a nákladovosti založení porostu, ale také nejsou zatím skoro žádné zkušenosti s délkou jednotlivých obmýtí tohoto opláštění. Cílem zakládání pokusných porostů (opláštění) je dlouhodobé ověření vhodné technologie výsadby, výběr jednotlivých druhů a kombinace dřevin, možnosti kombinace s RRD, metody ochrany a obnovy opláštění, možnosti jejich využití v produkci biomasy, případně možnost jejich využití zejména v oblasti biologické, estetické, krajinné funkce a vzájemných vlivů opláštění a vlastních ploch plantáží.

K výsadbě opláštění byly vybrány tyto druhy dřevin:

Stromy: javor babyka (*Acer campestre*), javor mléč (*Acer platanoides*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), bříza bělokorá (*Betula pendula*), habr obecný (*Carpinus betulus*), líska obecná (*Corylus avellana*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), vrba bílá (*Salix alba*), jeřáb obecný (*Sorbus aucuparia*).

Keře: svída krvavá (*Cornus sanguinea*), krušina olšová (*Fran-*

*gula alnus*), ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare*), trnka obecná (*Prunus spinosa*), růže šípková (*Rosa canina*), ostružiník vonný (*Rubus odoratus*), vrba jíva (*Salix caprea*), bez černý (*Sambucus nigra*).

Rostlinný materiál pro výsadbu byl dodán realizační firmou LESS, a.s. a byl vysázen do osmi bloků, kde od každého druhu bylo vysazeno 10 sazenic.

### Biomonitoring vybrané skupiny střevlíkovitých v opláštění

Čeď střevlíkovití (*Carabidae*) jsme vybrali pro náš výzkum z důvodu vysoké úrovně taxonometrického zpracování a širokých znalostí jednotlivých druhů, jejichž ekologické nároky jsou úzce vázány na určité biotopy. Díky tomu je tato skupina vhodná pro různá ekologická studia, která se používají k vyhodnocení stavu ekosystémů a zkoumající nejrozličnější vlivy prostředí na jejich společenstva. Hůrka (1996) zpracoval velmi kvalitní klíč čeledi *Carabidae* a podle nároků na stanoviště a antropogenního ovlivnění prostředí zařadil všechny druhy a poddruhy vyskytující se v České republice do tří základních skupin:

- V první skupině **R** jsou stenotopní (reliktní) druhy s nejužší ekologickou valencí. Patří sem i vzácné a ohrožené druhy přirozených, nepříliš poškozených ekosystémů, např. vřesovišť, bažin, rašelinišť, klimaxových lesů atd.
- Skupina **A** slučuje adaptabilnější druhy osídlující méně přirozené nebo přirozenému stavu blízké biotopy. Vyskytují se i na druhotných, dobře regenerovaných biotopech, zvláště v blízkosti původních ploch.
- Třetí skupina **E** sjednocuje eurytopní (kosmopolitní) druhy, které nemají zvláštní nároky na charakter a kvalitu prostředí. Vyskytují se na odlesněných stanovištích, která jsou silně ovlivněna lidskou činností.

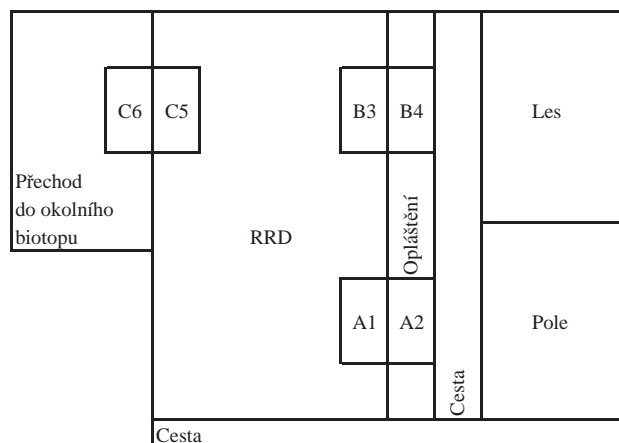
Z mnoha metod monitoringu jsme se rozhodli pro metodu zemních pastí. Tato metoda slouží na odchyt a zakonzervování bioindikátorů spadlých do pastí. Byla poprvé použita Barberem ve dvacátých letech 20. století. Zemní pasti, zapuštěné po okraj v půdě, byly tvořeny z plastových lahví s uříznutou horní částí hrdla. Byly umístěny do půdy a naplněny koncentrovaným 5% roztokem formaldehydu. Na ochranu proti dešťovým srážkám a částečně i proti hlodavcům byly pasti zakryty plastovou nebo hliníkovou stříškou.

Instalace pastí proběhla v květnu 2008. Pasti byly vybrány 3× během vegetační sezóny a v říjnu 2008 byl sběr dat ukončen. Obsah zemních pastí byl pokaždé slit do plastových lahví. Získaný živočišný materiál byl převezen do laboratoře a po následném propláchnutí a pročištění byl roztříděn do následujících skupin: střevlíkovití, pavouci a sekáči, mnohonožky, stonožky, stejnonožci a ostatní bezobratlí. Čeď střevlíkovití jsme dále podrobně určovali na jednotlivé rody a druhy.

Na výmladkové plantáži RRD v Droužkovicích bylo nainstalováno 18 zemních pastí v šesti blocích. Jednotlivé pasti byly od sebe vzdáleny přibližně 10 metrů. První blok A<sub>1</sub> byl nainstalován v pravé přední části porostu RRD. Druhý blok A<sub>2</sub> pastí byl umístěn do přední části opláštění porostu RRD, souběžně s prvním, a vzdálenost bloků od sebe byla 10 metrů. Na tento blok navazoval polní biotop. Třetí blok B<sub>3</sub> pastí byl vy-



tyčen opět v RRD, v pravé zadní části plantáže RRD. Čtvrtý blok B<sub>4</sub> byl souběžně se třetím nainstalován opět v opláštění. Vzdálenost třetího a čtvrtého bloku od sebe byla také 10 metrů. Na tento blok navazuje lesní společenstvo, složené z listnatých stromů s bohatým bylinným podrostem. Pátý blok pastí C<sub>5</sub> jsme nainstalovali do levé zadní části plantáže RRD a šestý blok pastí C<sub>6</sub> rovnoběžně s pátým do trvalého travního porostu, který se nachází mezi plantáží RRD a remízkiem. Pojmenovali jsme ho – přechod. Nedaleko od šestého bloku pastí se nachází malý lesík se smíšeným společenstvem a s malým potokem.



Obr. 1 Rozmístění zemních pastí v plantáži RRD a opláštění v Droužkovicích

### 3 VÝSLEDKY

Hodnocení ujímavosti opláštění bylo provedeno ve dvou termínech (tab. 1, 2). První kontrola byla provedena na jaře 20. 5. 2008. Vyšší ujímavost byla zjištěna u stromů (49 %) než u keřů (37 %). Ztráty byly způsobeny především vysokým stavem zvěře i přes ošetření výsadby přípravkem proti okusu. Druhá kontrola byla provedena v letním termínu 19. 8. 2008, kdy došlo k poklesu životaschopných dřevin u stromů na 38 %, u keřů na 27 %.

Ztráty v letním období byly způsobeny mechanickým poškozením při kultivaci výmladkové plantáže. Na základě těchto dvou hodnocení ujímavosti bylo rozhodnuto, že pro dlouhodobé sledování bude dosazeno opláštění výmladkové plantáže RRD. Dosadba byla provedena 6. 11. 2008 a následně bylo provedeno ošetření proti okusu zvěři.

I přes krátkodobé hodnocení ujímavosti dřevin v opláštění jsme zaznamenali velké rozdíly mezi jednotlivými druhy dřevin. Vyšší ujímavost měly tyto dřeviny: *Acer campestre*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Frangula alnus*, *Rosa canina*, *Rubus odoratus*, *Salix caprea*.

#### Vyhodnocení prvního roku sledování založení a péče o vzorové opláštění

Při návrhu druhové skladby bylo potřeba zohlednit podmínky konkrétního stanoviště a polopřirozených porostů v nejbližším okolí. I přes krátkodobé hodnocení ujímavosti dřevin se ukázaly velké rozdíly mezi jednotlivými druhy dřevin. Založený porost bylo potřeba ošetřit nátěrem proti okusu zvěři vzhledem k poměrně vysokému stavu zvěře.

Vzhledem k časové i finanční náročnosti a následné péči o opláštění výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin by bylo vhodné tyto porosty zakládat na základě začlenění této oblasti do krajinotvorných programů, pokud budou dodrženy určité požadavky týkající se druhové pestrosti výsadby. Dále musí být splněna podmínka použití pouze domácích druhů, ale nemusí se jednat pouze o topoly a vrby. Výsadbu lze provést s rozšířenou druhovou skladbou, která umožňuje pozitivní zapojení porostů RRD do funkčního systému krajiny a případně i částečnou lokální náhradu porostů trvalé zeleně. Tento efekt je možné dále ovlivnit druhovou i prostorovou skladbou, vycházející z konkrétních podmínek a charakteru stanoviště.

#### Vyhodnocení biomonitoringu

Biomonitoring bezobratlých byl na lokalitě Droužkovice prováděn prvním rokem. Již po prvním vyhodnocení bylo jasné, že tato lokalita má širokou diverzitu a abundanci bezobratlých živočichů. V roce 2008 bylo odchyceno 21 115 bez-

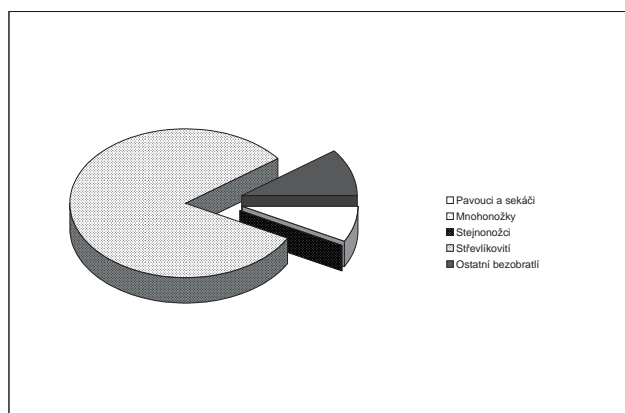
Tab. 1 Hodnocení ujímavosti stromů v jarním a letním období

Označení	Taxon	Celkový počet	Stav – jaro		Stav – léto	
			ks	%	ks	%
A	<i>Acer campestre</i>	80	72	90	60	75
B	<i>Acer platanoides</i>	80	51	64	38	48
C	<i>Acer pseudoplatanus</i>	80	71	89	63	79
D	<i>Alnus glutinosa</i>	80	53	66	37	46
E	<i>Betula pendula</i>	80	68	85	59	74
F	<i>Carpinus betulus</i>	80	8	10	5	6
G	<i>Corylus avellana</i>	80	27	34	15	19
H	<i>Fraxinus excelsior</i>	80	24	30	20	25
I	<i>Salix alba</i>	80	3	4	3	4
J	<i>Sorbus aucuparia</i>	80	11	14	3	4
Průměrná ujímavost				49		38

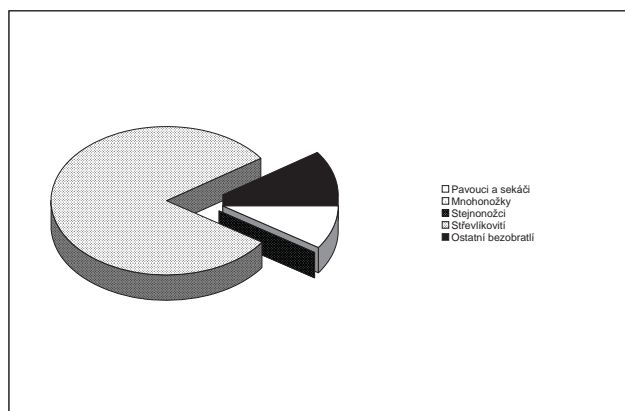
Tab. 2 Hodnocení ujmavosti keřů v jarním a letním období

Označení	Taxon	Celkový počet	Stav – jaro		Stav – léto	
			ks	%	ks	%
1	<i>Cornus sanguinea</i>	80	9	11	5	6
2	<i>Frangula alnus</i>	80	47	59	27	34
3	<i>Ligustrum vulgare</i>	80	5	6	1	1
4	<i>Prunus spinosa</i>	80	8	10	6	8
5	<i>Rosa canina</i>	80	45	56	35	44
6	<i>Rubus odoratus</i>	80	60	75	58	73
7	<i>Salix caprea</i>	80	45	56	32	40
8	<i>Sambucus nigra</i>	80	15	19	10	13
Průměrná ujmavost				37		27

obratlých, z toho 12 druhů čeledi *Carabidae* o celkovém počtu 17 308 jedinců.



Graf 1 Výskyt bezobratlých v porostu RRD v Droužkovicích 2008



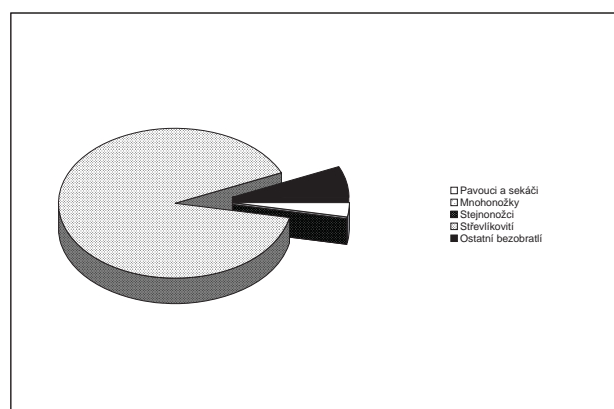
Graf 2 Výskyt bezobratlých v opláštění plantáže RRD v Droužkovicích 2008

Na základě šíře ekologické valence a antropogenních vlivů (Hůrka, 1996) jsme čeleď *Carabidae* rozdělili do již zmíněných skupin A, E, R. V pastech bloku A<sub>1</sub> bylo zjištěno 98,5 % eurytopních druhů a 1,5 % adaptabilnějších. Pasti A<sub>2</sub> v opláštění vykazovaly 89 % eurytopních a 11 % adaptabilnějších druhů. Blok B<sub>3</sub> byl zastoupen 97 % eurytopních a 3 % adaptabilnějších druhů. V pastech bloku B<sub>4</sub> bylo odchyceno 92,1 %

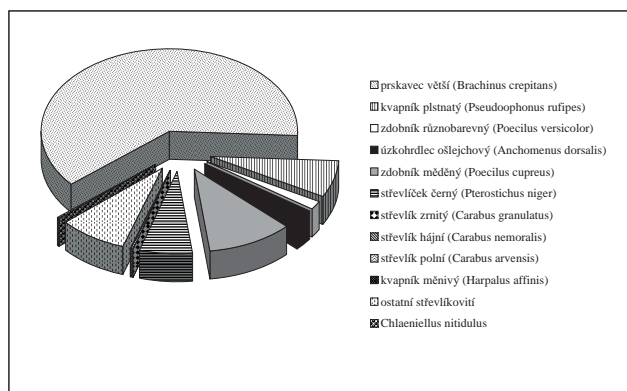
eurytopních a 7,9 % adaptabilnějších druhů. Pátý blok C<sub>5</sub> vykazoval 86,9 % eurytopních jedinců a 13,1 % adaptabilnějších. Poslední blok C<sub>6</sub> nachytil 90,6 % eurytopních a 9,4 % adaptabilnějších jedinců.

Vzhledem ke stáří výmladkové plantáže RRD a jejího opláštění (dva roky) je přirozené, že se na zkoumaných plochách nevyskytovali žádní jedinci ze skupiny R – s úzkou ekologickou valencí. Lze předpokládat, že se velký procentuální výskyt eurytopních druhů bude v dalších letech rok od roku snižovat a naopak se bude zvyšovat zastoupení adaptabilnějších jedinců. Díky růstu plantáže, jejího opláštění a růstu bylinných společenstev v plantáži se budou vylepšovat a zdokonalovat mikroklimatické podmínky pro zvolenou skupinu. Opadem listové hmoty se bude zvyšovat množství organické hmoty, která umožní nové životní podmínky pro edafon. Zvětšující se vlhkostní podmínky a přibývající bylinná patra se následně projeví zvyšujícím se výskytem herbivorů a následně i střevlíkovitých.

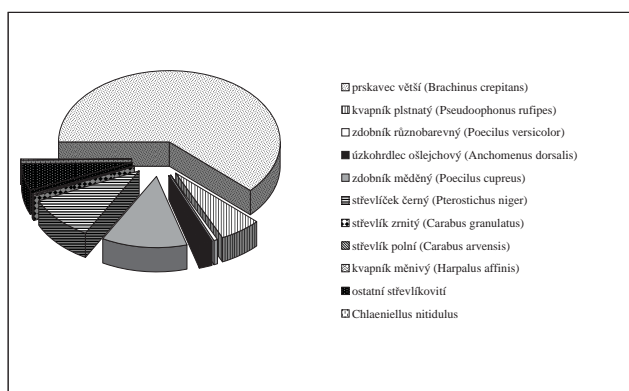
Na všech šesti studijních plochách byl nejhodněji se vyskytujícím druhem prskavec větší (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758), který je makropterním druhem otevřených stanovišť bez zastínění, suchých až polovlhkých. Jeho hojný výskyt vypovídá o poměrně mladém porostu RRD, kdy výmladková plantáž i její opláštění ještě není zcela zapojena. Je zde patrná silná antropogenní činnost.



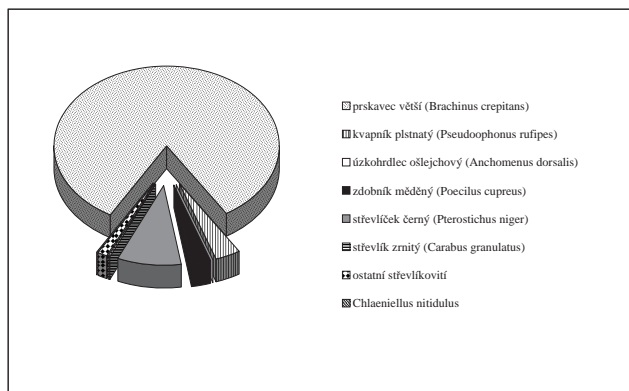
Graf 3 Výskyt bezobratlých v přechodu u plantáže RRD v Droužkovicích 2008



Graf 4 Skladba střevlíkovitých v porostu RRD v Droužkovicích 2008



Graf 5 Skladba střevlíkovitých v opláštění plantáže RRD v Droužkovicích 2008



Graf 6 Skladba střevlíkovitých v přechodu u plantáže RRD v Droužkovicích 2008

Byla vypočítána dominance jednotlivých rodů na zkouma-

ných plochách, která je dána vzorcem 
$$D = \frac{N_i}{N}$$
, kde  $N_i$  je počet jedinců druhu  $i$ ;  $N$  je počet všech zjištěných jedinců. Na ploše  $A_1$  byl eudominantním druhem prskavec větší (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758), dominantním druhem zdobník měděný (*Poecilus cupreus* Linnaeus, 1758). Oba zmíněné druhy se vyskytují na suchých až polovlhkých nezastíněných stanovištích. Na ploše  $A_2$  byl eudominantním jedincem opět *Brachinus crepitans* (Linnaeus, 1758) a dominantním byl zdobník měděný (*Poecilus cupreus* Linnaeus, 1758) a střevlíček černý (*Pterostichus niger* Schaller, 1783). Střevlíček černý se

objevuje na vlhkých stanovištích a je indiferentní k zastínění a podle Húrky (1996) patří do skupiny adaptabilnějších druhů. Na této ploše se vyskytl i střevlík zrnitý (*Carabus granulatus* Linnaeus, 1758), patřící do eurytopní skupiny. Na ploše  $B_3$  byl eudominantní *Brachinus crepitans* (Linnaeus, 1758) a subdominantní kvapník plstnatý (*Pseudoophonus rufipes* De Geer, 1774), který se vyskytuje v ČR v otevřené krajině na suchých až polovlhkých polích, loukách a okrajích lesů. Obě skupiny zmíněných brouků jsou eurytopní. Důležitý je zde výskyt adaptabilnějšího střevlíka hájního (*Carabus nemoralis* Müller, 1764), který se objevuje spíše na nezastíněných stanovištích. Na ploše  $B_4$  byl opět největší eudominantní výskyt prskavce většího (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758) a dominantní výskyt zdobníka měděného (*Poecilus cupreus* Linnaeus, 1758). Dále se zde objevil eurytopní střevlík zrnitý (*Carabus granulatus* Linnaeus, 1758). A mnohem důležitější je zde výskyt střevlíka polního (*Carabus arvensis* Herbst, 1784), který patří do skupiny adaptabilnějších druhů. Na další ploše  $C_5$  byl eudominantní opět prskavec větší (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758) a dominantním druhem byl adaptabilnější střevlíček černý (*Pterostichus niger* Schaller, 1783). Vyskytl se zde eurytopní střevlík zrnitý (*Carabus granulatus* Linnaeus, 1758). Na poslední ploše  $C_6$  byl zjištěn eudominantní druh *Brachinus crepitans* (Linnaeus, 1758) a adaptabilnější *Pterostichus niger* (Schaller, 1783), který se vyskytoval pouze subdominantně. Byl zde zaznamenán i nepatrný výskyt eurytopního střevlíka zrnitého (*Carabus granulatus* Linnaeus, 1758).

Podobnost druhového složení dvou společenstev byla stanovena na základě Jaccardova indexu, který je dán vzorcem

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

[www.wikipedia.org/wiki/Jaccard\\_index](http://www.wikipedia.org/wiki/Jaccard_index)

Výsledkem bylo porovnání všech šesti bloků navzájem. Z výpočtů vyplývá, že bloky  $C_5$  a  $C_6$  (levá strana plantáže a přechod do okolí) jsou druhově shodné na 100 %. Opláštění  $A_2$  si je nejvíce druhově podobné s opláštěním  $B_4$ , a to na 90,9 %. Dále se  $A_2$  druhově shoduje s plantáží  $A_1$  na 80 %. Opláštění  $B_4$  si je druhově podobné s plantáží  $B_3$  na 66,7 %. Z výpočtů je patrné, že opláštění má vliv na zvyšování diversity. Díky rozmanitému a stupňovitému složení vegetace plní opláštění funkci biokoridoru a refugii v antropogenní krajině nejen pro bezobratlé živočichy, ale i pro obratlovce.

## 4 DISKUZE A ZÁVĚRY

Charakteristika jednotlivých funkcí porostů výmladkových plantáží RRD a opláštění je závislá na konkrétní krajině struktuře, způsobu a intenzitě využívání, metodě hospodaření, charakteru osídlení, stavu a rozmístění přírodních prvků i zdrojů znečištění a devastací. Účinnost porostů opláštění je možné zvýšit především racionálním výběrem stanoviště před založením porostu, přizpůsobením tvaru porostu, rozšířením druhové skladby, úpravou managementu hospodaření a doplněním technických prvků nebo vazeb na stávající krajině prvky v souladu s požadovaným efektem.

Předpokládá se, že by se opláštění nesklízelo tak často jako samotný porost výmladkové plantáže. V případě sklizeného opláštění je potřeba vždy pamatovat na mechanizaci, kterou by porost byl sklizen. V takovém případě bude možné vya-

zovat maximálně opláštění v dvojřádkovém schématu, které bude možné sklídit např. řezačkou Claas Jaguar 890 se sklizecím aplikátorem Biomass Europa.

Opláštění v krajině vytváří s bylinným společenstvem zajímavé vegetační pásmo, které poskytuje v krajině nové životní stanoviště pro širokou škálu živočichů. Působí také jako refugium pro mnoho organismů, např. ptáky, pavouky atd. Může plnit funkci biokoridorů. Opláštění spolu s výmladkovou plantáží zabraňují erozi a přispívají ke stabilitě místního klimatu. Zabraňují vyplavování živin a zvyšují malý vodní cyklus v krajině. Díky opadu listové hmoty zvyšují podíl organických látek v půdě, které jsou důležité pro rozvoj půdního edafonu. Příznivé půdní, vlhkostní a vegetační změny uvnitř zapojeného opláštění významně ovlivňují složení nejen čeledi střevlíkovitých, ale i ostatních epigeických bezobratlých.

Z výsledků vyplývá, že opláštění má vyšší diverzitu bezobratlých než okolní biotopy. Čím rozmanitější je ekosystém, tím má větší pravděpodobnost si udržet svoji stabilitu a snadněji se tak vyrovnat s náhle vzniklou disturbancí (např. sklizeň výmladkové plantáže). Díky sklizním v porostech RRD lze očekávat nikoli vytvoření podmínek pro existenci společenstev skutečně lesních, nýbrž druhově mnohem rozmanitějších společenstev přechodových (Syróvatka, 2004). Plantáže RRD se významným způsobem podílejí na revitalizaci zemědělských půd.

Zvolená metoda zemních pastí díky fixační tekutině uvnitř pastí dokázala veškerý do ní napadený hmyz dobře zafixovat. Obsah pastí byl rozříděn do jednotlivých skupin: střevlíkovití, pavouci a sekáči, mnohonožky, stonožky, stejnonožci a ostatní bezobratlí. V grafu 1, 2, 3 je porovnání výskytu bezobratlých v plantáži RRD, v opláštění a v přechodu mezi plantáží a lesem. V procentuálním zastoupení se nejvíce vyskytuje čeleď střevlíkovití. V plantáži RRD a v jejím opláštění je výskyt přibližně stejný, a to 82 % a 81 %. V přechodu jsou střevlíkovití zastoupeni 90 %, a to díky masivnímu výskytu prskavce většího (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758), v počtu 1 700 jedinců z celkového počtu 2 051 jedinců. V grafu 4, 5, 6 je porovnání skladby střevlíkovitých na zmíněných lokalitách. Největší druhové zastoupení střevlíkovitých je v plantáži RRD, ve které se vyskytl adaptabilnější střevlík hájní (*Carabus nemoralis* Müller, 1764), a to díky přilehlému lesnímu biotopu. Nejmenší druhové zastoupení bylo zjištěno v přechodu mezi plantáží a remízem. Ve všech třech lokalitách silně dominoval prskavec větší (*Brachinus crepitans* Linnaeus, 1758).

Čeleď střevlíkovití byla vyhodnocena podle stanovištních nároků na E, A, R jedince. Výsledky potvrdily velké množství eurytopních jedinců otevřených stanovišť, kteří vypovídají o krajině silně ovlivněné antropogenní činností. V krajině se odráží intenzivní zemědělské hospodaření na velkých plochách. Vysazením výmladkové plantáže a opláštění do takovéto krajiny přináší mnoho pozitiv i pro zemědělství, např. přirozený úkryt pro predátory škůdců zemědělských plodin, vázaných na stabilnější životní podmínky.

Dlouhodobějším sledováním budeme moci potvrdit snižující se výskyt eurytopních jedinců a zvyšující se výskyt adaptabilnějších střevlíkovitých díky nárůstu vegetace ve výmladkové plantáži a regeneraci prostředí. Adaptabilnější střevlíkovití ukazují na zvyšující se kvalitu přírodních hodnot zkoumaných

stanovišť. Je potřeba se také zmínit, že pro osídlování a pronikání organismů do plantáží RRD a jejího opláštění je velmi důležitý okolní biotop hraničící s plantáží.

## Poděkování

Výsledky prezentované v článku byly získány s přispěním grantového projektu MŠMT ČR 2B06132 „Biodiverzita a energetické plodiny“.

## LITERATURA

- Boháč, J. (1999): Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecology and Environment*, vol. 74, no. 1–3, p. 357–372.
- Boháč, J. (2003): Střevlíkovití a drabčíkovití (*Coleoptera, Carabidae, Staphylinidae*) brouci NPR Brouskův mlýn a jejich využití pro monitorování stavu biotopů. In *Sborník ze semináře o NPR Brouskův mlýn*.
- Boháč, J., Moudrý, J., Desetová, L. (2007): Biodiverzita a zemědělství, *Životné prostredie*, roč. 41, č. 1, s. 24–29.
- Hůrka, K., Veselý, P., Farkač, J. (1996): Využití střevlíkovitých (*Coleoptera: Carabidae*) k indikaci kvality prostředí. *Klapalekiana*, roč. 32, s. 15–26.
- Syróvatka, O. (2004): Bioindikace významu porostů rychle rostoucích dřevin pro obnovu biologické rozmanitosti v příměstské krajině na základě využití komplexu střevlíků rodu *Carabus* – III. Ukázková studie, 2004, in knih. VÚKOZ v.v.i., Průhonice.

## Jiné zdroje

[www.wikipedia.org/wiki/Jaccard\\_index](http://www.wikipedia.org/wiki/Jaccard_index)

Rukopis doručen: 13. 7. 2009

Přijat po recenzi: 20. 8. 2009

# EKONOMIKA PĚSTOVÁNÍ LESKNICE RÁKOSOVITÉ PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

## ECONOMIC EFFECTIVENESS OF REED CANARY GRASS PLANTING FOR ENERGY PURPOSES

Kamila Havlíčková<sup>1</sup>, Jaroslav Knápek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz

<sup>2</sup>České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6, knapek@fel.cvut.cz

### Abstrakt

Článek se věnuje problematice ekonomického hodnocení pěstování lesknice rákosovité na zemědělské půdě v České republice. Metodika ekonomického hodnocení je založena na výpočtu minimální ceny produkce – ceny tepla v Kč/GJ tepla v palivu. Minimální cena produkce představuje mez ekonomické efektivnosti produkce pro investora a pro její stanovení se používá ekonomický model zachycující všechny procesy související s pěstováním biomasy pro energetické účely. Porosty lesknice rákosovité mohou být zaměřeny na produkci biomasy buď pro přímé spalování (tzv. jarní sklizeň po zimě) nebo na produkci fyto-masy pro bioplynovou stanici. Použité vstupní údaje v modelu pocházejí z experimentálně zjištěných dat na výzkumných plochách porostu lesknice rákosovité a z tržního ocenění jednotlivých činností. Minimální cena lesknice rákosovité vychází v roz-pětí 77–180 Kč/GJ (ceny roku 2008) v závislosti na výnosech a termínu sklizně.

**Klíčová slova:** lesknice rákosovitá, ekonomické aspekty, produkce biomasy, minimální cena

### Abstract

The paper deals with reed canary grass planting on agriculture fields for energy purposes in the Czech Republic. The methodology of economic effectiveness evaluation is based on calculation of so called minimum price of production in CZK/GJ of heat in biomass. Minimum price reflects limit price that assure positive economic effect of the project from investors point of view. Minimum price is calculated with help of economic model that includes all processes related to biomass planting. Reed canary grass growth can be aimed either at biomass production for direct burning (spring after winter harvest) or at green biomass production for biogas station. Input data of used economic models were derived from experimental data collected from testing fields and from market prices of individual agriculture services. Minimum prices of reed canary grass were calculated to be in the range app. 3.0–6.9 EUR/GJ (2008 prices) in the condition of the Czech Republic for the next decade.

**Keywords:** intentionally grown biomass, biomass production, price of biomass

## 1 ÚVOD

Biomasa je ve středně a dlouhodobém měřítku rozhodující obnovitelným zdrojem energie (OZE) v České republice. Podle Státní energetické koncepce z roku 2004 by se biomasa měla podílet na celkovém příspěvku OZE k primárním zdrojům v cílovém roce 2030 cca 80–85 %. Její využití je dobře technicky zvládnuto, avšak hlavním a zároveň obtížně překonatelným limitem využití biomasy je její množství na trhu a dopravní dostupnost.

S rostoucí poptávkou po biomase pro energetické účely se stává stále důležitější otázka, jakou lze očekávat cenu biomasy do budoucna. Budoucí cena biomasy je totiž jedním ze základních faktorů rozhodování jak investorů do využití biomasy pro výroby elektřiny a tepla, tak i subjektů, které by chtěly začít podnikat v oblasti cíleného pěstování biomasy pro energetické účely.

Obecně je pohled na cenu jakékoliv komodity možný z pohledu minimálně dvou různých subjektů, jejichž zájmy jsou v protikladu. Investor z jakéhokoliv projektu se logicky snaží vydělat co nejvíce, vždy ale nejméně tolik, kolik by dosáhl v alternativních možnostech investování (při respektování

výše rizika daného typu projektů). Naopak ten, kdo daný produkt chce nakupovat, má snahu zaplatit co nejméně, resp. zaplatí za určitý produkt maximálně tolik, kolik by zaplatil za alternativní dodávky na trhu s danou komoditou.

Při rozhodování o svých podnikatelských záměrech se obě strany snaží predikovat vývoj ceny na trhu s danou komoditou, v tomto případě ceny biomasy.

## 2 METODIKA A MATERIÁL

Cíleně pěstovaná biomasa hraje rozhodující roli v předpokladech budoucího rozvoje užití biomasy v ČR. Cena biomasy hraje klíčovou roli při rozhodování jak investorů do jejího užití (např. energetických podniků rozhodujících se o investici do zařízení pro výrobu elektřiny a/nebo tepla na bázi užití biomasy), tak i do jejího pěstování (např. zemědělských investorů zvažujících strategii rozvoje jejich podniku a využití zemědělské půdy, kterou mají k dispozici). Rozhodování obou typů subjektů je standardně rozhodováním zahrnujícím delší časové horizonty. Investoři do energetických zařízení potřebují mít zajištěn přísun paliva a budou tedy vyžadovat dlou-

hodobé kontrakty na dodávku biomasy. Naopak např. investoři do plantáže RRD, ale i porostů s dobou životnosti až 10 let, budou hledat dlouhodobější uplatnění své produkce. Při tomto typu rozhodování však není možné používat informace o současné ceně biomasy. Důvody zde jsou zejména: (1) omezený rozsah trhu s biomasou, kdy cena jednotlivých forem biomasy nemá vypovídající úroveň, (2) cenová úroveň biomasy je v současné době do značné míry dána nastavením zelených bonusů pro spoluspalování biomasy ve velkých elektrárnách a teplárenských blocích, (3) předpokládaný masivní rozvoj užití biomasy povede k zásadním změnám na trhu s biomasou.

Z výše uvedených důvodů je pro úlohy, které mají systémový charakter (jako je např. stanovení potenciálu biomasy, analýza konkurenceschopnosti biomasy atd.), nutné vycházet z modelování budoucí ceny biomasy.

Cena biomasy je obecně dána trhem – rovnováhou mezi nabídkou a poptávkou po biomase. Faktory ovlivňující cenu biomasy lze rozdělit na faktory na straně nabídky a na straně poptávky. Faktory na straně nabídky představují pohled ekonomické efektivity subjektu rozhodujícího se o realizaci projektu na cílené pěstování biomasy. Z analýzy faktorů na straně nabídky lze tak odvodit tzv. minimální cenu jednotky produkce (tj. jednotkovou cenu biomasy), která má charakter dlouhodobých marginálních nákladů. Tato cena představuje limit, pod který racionálně se rozhodující ekonomický subjekt nepůjde (tj. nebude projekt realizovat). Minimální cena je pak vodítkem umožňujícím posoudit, od které úrovně se cena dané formy biomasy může na trhu pohybovat.

Minimální cena biomasy (daného typu a účelu užití) byla vypočtena pomocí ekonomických modelů. Ekonomický model zachycuje všechny potřebné procesy pro realizaci projektu, všechny procesy byly oceněny tržními cenami. Model obsahuje předpoklady vývoje cen jednotlivých vstupů. Výstupem ekonomického modelu jsou hotovostní toky (CF) v jednotlivých letech realizace projektu. Minimální cena biomasy byla pak spočtena z podmínky NPV=0 (čistá současná hodnota projektu rovna nule).

Investor pak dosahuje výnosu z vloženého kapitálu, který je roven diskontu použitému pro výpočet NPV. Diskont musí odpovídat svojí výší riziku dané oblasti podnikání. Podrobnosti k metodice ekonomického hodnocení a tvorbě ekonomických modelů viz Havlíčková (2005, 2006, 2008).

Okruhy činností, které jsou potřebné pro realizaci jednotlivých projektů na cílené pěstování biomasy pro energetické účely, jsou:

- Přípravné a rozhodovací procesy.
- Příprava pozemku.
- Zajištění osiva, resp. sadbového materiálu.
- Založení porostu, resp. setba.
- Procesy mezi založením porostu a sklizní, resp. mezi sklizněmi.
- Sklizeň biomasy včetně dopravy na centrální úložiště.
- Navrácení pozemku do výchozího stavu.
- Režijní procesy související s realizací projektu.
- Podpora pro danou formu biomasy.

Podobu ekonomického modelu podstatně ovlivňuje časové hledisko rozhodování investora do cíleného pěstování biomasy, které je dáno typem a způsobem pěstování biomasy. Z časového hlediska lze rozlišit tři základní typy ekonomických modelů, resp. přístupů pro odhad budoucí ceny biomasy:

- Projekty s dlouhým časovým horizontem, který dosahuje dvacet i více let. Příkladem jsou zde výmladkové plantáže RRD. Tyto projekty mají zcela stejný charakter jako běžné podnikatelské projekty – investor na začátku investuje a pak po dobu životnosti mu investice generuje finanční prostředky.
- Projekty se střednědobým časovým horizontem, kdy životní cyklus projektu je více jak jeden rok, ale je kratší než v případě plantáží RRD – typicky se bude jednat o cca 5–10 let v případě víceletých energetických plodin.
- Projekty, kdy je časovým horizontem jeden rok, za který je realizován celý životní cyklus projektu. Příkladem zde jsou jednoleté energetické plodiny, resp. i klasické zemědělské plodiny v daném okamžiku využívané pro energetické účely.

Časový horizont projektu určuje, po jakou dobu není možné původní rozhodnutí o realizaci projektu změnit, resp. jeho změna by znamenala pro investora významné ztráty. V prvních dvou případech je třeba vytvořit kompletní ekonomické modely, které budou modelovat procesy v jednotlivých letech.

Ve třetím případě je v zásadě možné zjednodušit úlohu na jednoletý časový horizont a odvozovat cenu biomasy od výdajů v tomto časovém horizontu. V praxi však často toto nebude možné – producent např. uzavře dlouhodobou smlouvu na dodávku biomasy o daných parametrech, resp. si pořídí speciální mechanizaci, pro kterou není jiné užití apod. Pak i v tomto případě je nutné vytvořit víceletý ekonomický model.

Při pěstování jednoletých energetických bylin se velmi silně bude projevovat i efekt „opportunity cost“. Pokud by neexistovala žádná omezení, zemědělec by požadoval takovou cenu za biomasu, aby celkový efekt z užití pozemku byl nejméně stejný, jako by byl v případě alternativních plodin – např. produkce pro biopaliva nebo produkce klasických zemědělských komodit. Cenová kalkulace je zde opět pouze podpůrným nástrojem, rozhodujícím faktorem by byl opět trh.

Faktorem, který od sebe odlišuje tři výše uvedené skupiny energetické biomasy, je i riziko podnikání, které je pro tyto skupiny různé. Největší riziko je v prvním případě – investor vydává peníze na založení plantáže, výnosy však bude získávat až s určitým odstupem. Existují zde významná rizika např. extrémního počasí, které může zásadním způsobem ovlivnit výnosnost plantáže. Současně investor má pouze omezenou možnost jak reagovat na případné fluktuace trhu s biomasou (pokles cen). Naopak v případě jednoletých energetických plodin investor má možnost každý rok zvážit záměr a své rozhodnutí ev. přehodnotit. V případě extrémního počasí navíc riskuje odepsání podstatně menších nákladů, které musel vynaložit na založení porostu.

## 3 VÝSLEDKY

### 3.1 Ekonomická efektivnost pěstování lesknice rákosovité pro přímé spalování

Lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.) je víceletá (5–10 let) až vytrvalá výběžkatá tráva s nároky na vláhu a živiny, odolná proti nepříznivým klimatickým podmínkám (holomrazy, pozdní jarní mrazíky, zastínění, krátkodobé zaplavení, ale i přísušek). Snáší těžší půdy, kyselé, méně provzdušněné. Největší nárůst fytomasy je v době kvetení či těsně po odkvětu. Lesknice přes zimu nepoléhá, výnosy z přezimovaného porostu jsou nižší.

Porosty lesknice lze využívat dvojným možným způsobem. První možností je sklizeň biomasy až následující jaro před regenerací porostu kvůli přirozenému snížení obsahu vody až na 20 %. Pro spalování pak není nutné biomasu dosušovat. Podle vlhkosti fytomasy a počasí se 1–2× obrací, shrnuje na řádky a následně lisuje do velkoobjemových kulatých či hranatých balíků. Z fytomasy lze při vlhkosti kolem 20 % lisovat brikety či pelety na stacionárních či mobilních lisech. Druhou možností je letní sklizeň, kterou lze realizovat ve dvou variantách: na bioplyn před metáním rostlin, na spalování ve fázi dozrávání semen (výhody pro spalování – nejvyšší výnos, nevýhody – nižší sušina a potřeba dosušení, vyšší obsah základních prvků). Při sečení rostlin (sklizni porostu) na bioplyn v období před metáním porost do konce vegetace znovu obrůstá. Tento porost je možno na podzim buď sklídit, nebo mulčovat na výšku porostu cca 5 cm, aby chom nemuseli na jaře vyvlačovat stařinu. Při porostu vysokém méně než 20 cm je možné použít místo mulčovače obyčejnou sekačku s tím, že posečená hmota zůstane na poli jako mulč.

Varianta produkce biomasy pro bioplynové stanice se liší způsobem sklizně. Biomasa se seče, řeže a ukládá žací řezačkou do dopravních velkoobjemových prostředků (obdobně jako při silážování) a dopravuje na složiště fytomasy (zpevněná, betonová (izolovaná) plocha, velkokapacitní žlaby) při vlhkosti asi 75–85 %. Navíc je nutné přidat procesy související s podzimní sklizní, resp. mulčováním (viz výše). Všechny ostatní procesy zůstávají v modelu shodné. Dalším rozdílem je vyšší výnos biomasy (v tunách sušiny), protože nedochází ke ztrátám biomasy v zimním období.

Ekonomický model porostu lesknice rákosovité určené pro produkci biomasy pro přímé spalování pracoval se čtyřmi základními předpoklady o výnosech biomasy (v sušině, balíková biomasa) – viz graf 1.

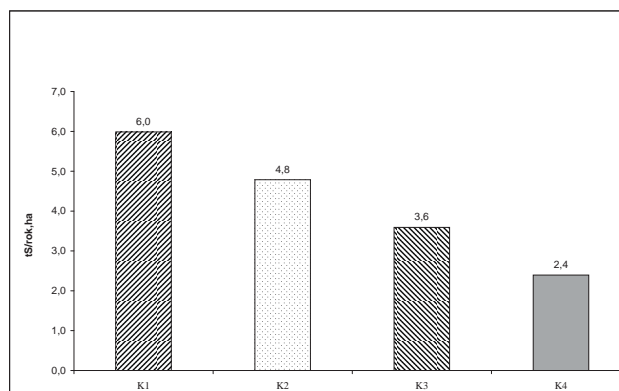
Tyto výnosy vycházely z typických hodnot pro podmínky ČR a respektovaly cca 30% ztráty biomasy (v sušině) z důvodu jarní sklizně – tj. porost se na pozemku nechává po celou zimu. Základní výhodou je velmi nízký obsah vody v biomase a není tak nutné biomasu (za předpokladu jejího užití pro spalování s cílem výroby tepla a/nebo elektřiny) dosušovat.

Ekonomický model porostu lesknice vycházel z následujících předpokladů:

Rozloha porostu: 10 ha

Sklizeň: na jaře, posekání a balíkování, přímé použití pro energetické účely

Svozová vzdálenost: 10 km



Pozn.: K1–K4 = průměrné výnosy za rok v tunách sušiny na jeden hektar

Graf 1 Výnosové křivky „Lesknice rákosovitá – jarní sklizeň“

Doba životnosti porostu: 10 let

Průměrná inflace: 2,5 %

Nominální diskont: 8,65 %

Hnojení při založení a v průběhu: minerální hnojiva<sup>1</sup> (Mediavilla et al., 1993, 1994, 1995; Olsson, 1993).

Mezi další základní předpoklad patřil i předpoklad, že výkonné procesy jsou zajišťovány jako externí služba – např. osetí, sklizeň, orba apod. – pro nákladové ocenění těchto procesů jsou použity tržní ceny těchto služeb.

Procesy modelu byly rozděleny do následujících okruhů:

1. Přípravné procesy a režie
2. Příprava pozemku
3. Náklady na osivo
4. Náklady na založení porostu
5. Sklizeň a procesy mezi sklizněmi
6. Náklady na likvidaci porostu

Model je vytvořen tak, že jednotlivé procesy jsou z hlediska vazby na výnos biomasy, resp. rozlohu porostu, rozděleny na procesy s variabilními náklady a procesy s fixními náklady. To umožňuje specifikaci varianty výnosu (ve vazbě na podmínky lokality), resp. zadáním velikosti porostu, pružně aktualizovat model pro změněné podmínky.

Model předpokládá, že v čase  $t = 1$  (rok 2008) se provedla analýza a příprava projektu včetně studie proveditelnosti. Současně se předpokládalo, že rozhodnutí o realizaci projektu je k dispozici tak, aby v tomto roce bylo možné provést přípravu pozemku na založení porostu (podzimní přípravné práce). V dalším roce  $t = 2$  (2009) na jaře se předpokládalo založení porostu.

Náklady na nájem pozemku se předpokládají ve výši 800 Kč/ha/rok. Související režijní náklady jsou odhadnuty na cca 800 Kč·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Náklady na nájem pozemku se podílejí na celkových nákladech projektu cca 11,5<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Dalšími možnými alternativami jsou užití statkových hnojiv, resp. tekutými kaly ČOV. Tyto varianty z hlediska jejich menší obecnosti užití nejsou uvažovány při vytvoření modelu. Použití minerálních hnojiv je základní, vždy možnou variantou.

<sup>2</sup> Jde o podíl na celkových diskontovaných nákladech.

Náklady na pozemek tak mají o řád vyšší váhu než v případě plantáží RRD.

Předpokládaný nárůst cen pronájmů pozemků se tak může významněji promítat do ceny biomasy, než je tomu v případě plantáží RRD.

Předpokládalo se, že pro realizaci projektu porostu lesknice byl použit „relativně dobrý“ pozemek, u kterého není nutné provádět nadstandardní opatření – jako např. rozsáhlé odplevelování, nadstandardní hnojení apod. Celkové náklady na podzimní přípravu pozemku byly odhadnuty na 7 800 Kč·ha<sup>-1</sup> (podzim) a 700 Kč·ha<sup>-1</sup> (jaro).

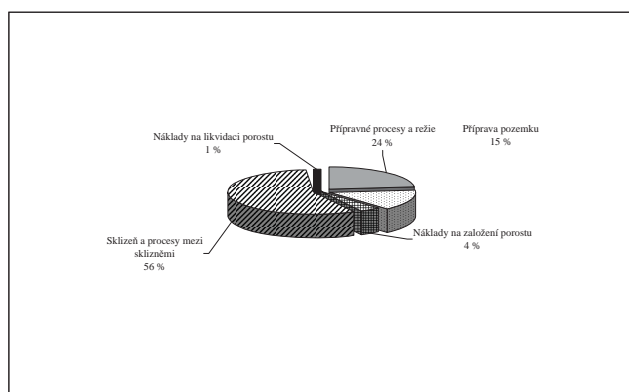
Spotřeba osiva se předpokládala 25 kg·ha<sup>-1</sup>. Vzhledem k jeho charakteru a množství se na rozdíl od plantáže RRD neuvážovaly další náklady spojené s jeho uchováváním a dopravou do místa užití.

Pro setí se předpokládalo užití univerzálního secího stroje s adaptérem na jetel, výsevek 20–25 kg·ha<sup>-1</sup> semene do hloubky 1–1,5 cm a do řádků širokých 12,5 cm. Celkové náklady se předpokládaly ve výši cca 2 600 Kč·ha<sup>-1</sup>. V modelu se předpokládalo chemické odplevelení na jaře<sup>3</sup>.

Náklady na sklizeň a procesy mezi sklizněmi (především hnojení) byly rozhodujícími náklady projektu (cca 52 %). Z toho o něco méně než polovina byly vlastní náklady sklizně, zbytek byly náklady na hnojení. Sklizeň zahrnovala sečení a následné balíkování (viz výše). Předpokládalo se odvoz traktorem s valníkem na centrální složiště vzdálené 10 km. Po skončení doby životnosti porostu se předpokládalo zaorání pomocí hluboké orby.

Minimální cenu biomasy silně ovlivňuje výše dotací. Pro analýzu vlivu dotací byly výpočty provedeny ve třech variantách – bez dotace, se současnou výší dotace (dále označená jako SAPS2, předpokládá se konstantní výše po celou dobu životnosti projektu) a s předpokladem nárůstu dotace až na cílovou hodnotu 7 000 Kč/ha v roce 2018 (dále označovaná jako SAPS1).

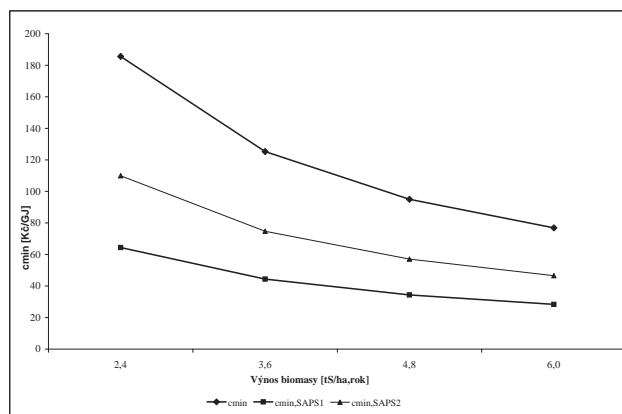
Struktura výdajů v současné ceně pro modelový porost lesknice – jarní sklizeň je dle následujícího obrázku.



Graf 2 Struktura výdajů v současné hodnotě projektu „Lesknice rákosovitá – jarní sklizeň“

<sup>3</sup> Proti plevelům je možno aplikovat herbicidy, které se používají do jarních obilnin, a to nejlépe ve fázi 2–5 listů lesknice. Doporučuje se Starane EC 250 v dávce 2–3 l·ha<sup>-1</sup> nebo Lontrel 300 v dávce 0,8–1 l·ha<sup>-1</sup> nebo Harmony ex-

tra v dávce 40g + smáčedlo Trend (0,1 %), apod. Variantním řešením pro redukci plevelů je tzv. odplevelovací seč, při které se porost před vykvetením nejrozšířenějších plevelů poseče (je vhodné odklidit fytomasu z pozemku). Místo žací rezačky lze použít žací stroj. Odvoz biomasy závisí na výšce porostu a množství posečené hmoty. Na silně zaplevelených porostech lze odplevelovací seč opakovat nebo kombinovat s aplikací herbicidů. Ochrana proti plevelům se provádí v prvním roce.



Graf 3 Závislost minimální ceny na výnosu biomasy a předpokladu dotace – model „Lesknice rákosovitá – jarní sklizeň“

Tab. 1 Minimální cena biomasy v Kč/GJ v závislosti na výnosu biomasy a předpokladu dotace – model „Lesknice rákosovitá – jarní sklizeň“

	t(suš.)·ha-1·rok <sup>1</sup>	c <sub>min</sub>	c <sub>min</sub> , SAPS1	c <sub>min</sub> , SAPS2
K4	2,4	186	71	113
K3	3,6	125	49	77
K2	4,8	95	38	59
K1	6,0	77	31	48

Údaje v tab. 1 jsou ceny tepla v palivu, kdy do výpočtu jsou zahrnuty všechny procesy a náklady na zajištění daného paliva (balíku suché biomasy).

### 3.2 Ekonomická efektivnost pěstování lesknice rákosovitě pro bioplynovou stanici

Letní sklizeň lze realizovat ve dvou variantách: na bioplyn před metáním rostlin, na spalování ve fázi dozrávání semen (výhody pro spalování – nejvyšší výnos, nevýhody – nižší sušina a potřeba dosoušení, vyšší obsah základních prvků). Při sečení rostlin (sklizení porostu) na bioplyn v období před metáním porostu do konce vegetace znovu obrůstá. Tento porost je možno na podzim buď sklídit, nebo mulčovat na výšku porostu cca 5 cm, aby nebylo nutné na jaře vyvlačovat stařinu. Při porostu vysokém méně než 20 cm je možné použít místo mulčovače obyčejnou sekačku s tím, že posečená hmota zůstane na poli jako mulč.

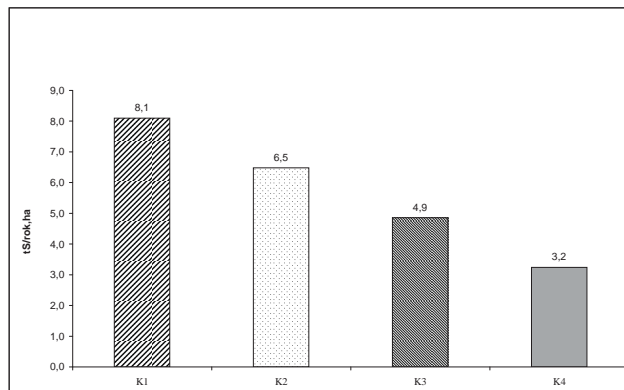
Pro vytvoření modelu „letní sklizeň pro bioplynovou stanicí“ byla uvažována varianta pěstování zelené hmoty jako vstupu do bioplynové stanice. Vytvořený model představuje vzorovou strukturu modelu pro modelování jiných druhů porostů travin jako vstupu pro bioplynovou stanicí.

Některé činnosti (procesy) jsou shodné s modelem „Leskni-



ce – jarní sklizeň“ – např. všechny přípravné činnosti, založení porostu, likvidace porostu apod. Naopak procesy týkající se sklizně biomasy jsou odlišné. Současně byl model „Lesknice – letní sklizeň“ doplněn o další okruh aktivit souvisejících se specifickým užitím biomasy jako vstupu do bioplynové stanice. Pro porovnatelnost ceny jednotlivých forem a typů biomasy bylo třeba důsledně dodržovat stejnou logiku metodiky při vyjadřování ceny. Metodický přístup byl postaven na tom, že minimální cena vyjadřuje cenu jednotky tepla v palivu, a to při respektování daného typu užití. To znamená, že při předpokladu použití biomasy na spalování cena biomasy vyjadřuje cenu tepla v palivu. Naopak při předpokladu užití biomasy jako vstupu do bioplynové stanice bylo třeba respektovat fakt, že „zelená“ biomasa není primárním palivem, tím je vlastně až vytvořený bioplyn. Do procesů bylo tak třeba zahrnout i skladování biomasy (siláže) a zejména bylo třeba energetický efekt vztahovat na vytvořený bioplyn.

Model pracuje se 4 typickými výnosovými křivkami, které představují průměrné výnosy v t (suš.)·ha<sup>-1</sup>, rok dle následujícího grafu.



Pozn.: K1–K4 = průměrné výnosy za rok v tunách sušiny na jeden hektar

Graf 4 Výnosové křivky „Lesknice – letní sklizeň“

Při vytvoření výnosových křivek se použily stejné vstupní údaje (předpoklady), jako je tomu v případě modelu „Lesknice – jarní sklizeň“.

Pro vytvoření ekonomického modelu porostu lesknice byl vytvořen referenční projekt s následujícími základními parametry:

Rozloha porostu: 10 ha

Sklizeň: v létě, posekání (Lechtenberg et al., 1981; Olsson, 1993), odvoz na silážní jámu, použití jako vstup do bioplynové stanice

Příprava pozemku a založení porostu je shodné jako u varianty „Lesknice – jarní sklizeň“. Sklizeň je odlišná od varianty „Lesknice – jarní sklizeň“.

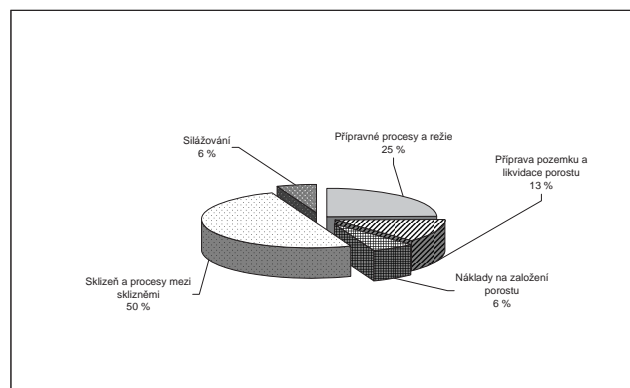
Do tohoto okruhu procesů patří:

- Sklizeň – posekání (léto)
- Sběr
- Odvoz na centrální úložiště
- Hnojení – minerální hnojiva N, P, K, Ca

Náklady na sklizeň a procesy mezi sklizněmi (především hnojení) byly rozhodujícími náklady projektu (cca 50 %), z toho vlastní sklizeň a odvoz 30 %. Předpokládá se odvoz traktorem s valníkem na silážní jámu vzdálenou 10 km. Po skončení doby životnosti porostu se předpokládalo zaorání pomocí hluboké orby.

Náklady na silážní jámu (a skladování biomasy po celý rok) byly odhadnuty na cca 22 Kč·t<sup>-1</sup>. Tyto náklady obsahují jak variabilní náklady spojené s manipulací biomasy na silážní jámě, tak i fixní náklady.

Následující graf prezentuje strukturu výdajů (diskontovaných) projektu porostu lesknice produkujícího biomasu pro bioplynovou stanici.



Graf 5 Struktura výdajů v současné hodnotě projektu – porost lesknice rákosovité pro bioplynovou stanici

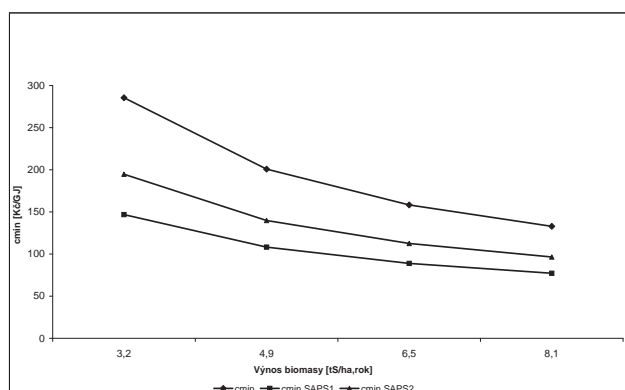
Rozmezí minimální ceny demonstruje následující tabulka a graf.

Tab. 2 Minimální cena biomasy v Kč/GJ v závislosti na výnosu biomasy a předpokladu dotace – model „Lesknice rákosovitá – letní sklizeň“

	t (suš.)·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>	c <sub>min</sub>	c <sub>min</sub> ,SAPS1	c <sub>min</sub> ,SAPS2
K4	3,2	285,5	146,8	194,7
K3	4,9	200,8	108,2	139,8
K2	6,5	158,3	88,9	112,6
K1	8,1	132,9	77,2	96,5

Údaje v tab. 2 jsou ceny tepla v palivu, kdy do výpočtu jsou zahrnuty všechny procesy a náklady na zajištění daného paliva (do bioplynu). Nejde totiž přímo srovnávat minimální cenu biomasy, kterou je možné přímo využít (balíky suché biomasy viz tab. 1) a minimální cenu biomasy, kterou je nutné transformovat (s významnými energetickými ztrátami – do bioplynu, kam přejde jen část energetického obsahu biomasy).

Vzhledem k použití fytomasy, jako vstupu do bioplynové stanice je možné údaje v tab. 2 přepočítat na hodnoty palivových nákladů bioplynové stanice vztážené na 1 kWh vyrobené elektřiny. Tyto údaje mají lepší interpretaci a umožňují i posouzení vlivu změn ceny vstupní suroviny na náklady výroby elektřiny z bioplynu. Při přepočtu samozřejmě hraje významnou roli účinnost výroby elektřiny z bioplynové stanice. Údaje v tab. 3 vycházejí z modelové účinnosti výroby elektřiny cca 40 %.



Graf 6 Závislost minimální ceny pro porost Lesknice rákosovité – letní sklizeň na dotaci a výnosové křivky

Tab. 3 Měrné palivové náklady na výrobu elektřiny v bioplynové stanici při použití biomasy z porostu Lesknice rákosovité – letní sklizeň

	Bez dotace Kč.kWh <sup>-1</sup>	Dotace SAPS1 Kč.kWh <sup>-1</sup>	Dotace SAPS2 Kč.kWh <sup>-1</sup>
K1	1,20	0,69	0,87
K2	1,42	0,80	1,01
K3	1,81	0,97	1,26
K4	2,57	1,32	1,75

Výše uvedená tabulka byla vypočtena za předpokladu následujících vstupních údajů: obsah metanu v bioplynu 52 %, výťažnost bioplynu 520 Nm<sup>3</sup>·t(suš.)<sup>-1</sup>.

#### 4 DISKUZE A ZÁVĚRY

Ceny biomasy jsou, a i v budoucnu zřejmě budou, velmi lokální záležitostí, neboť doprava na delší vzdálenosti konečnou cenu biomasy prodražuje relativně více, než je tomu u klasických paliv. Cenová hladina biomasy bude sice vždy záviset na vývoji cen vstupů, jako jsou mzdy, náklady na energii, dopravu apod., rozdíly v cenách jednotlivých lokalit a různých forem biomasy podle našeho názoru zůstanou i v budoucnu relativně velké.

Ekonomické hodnocení lesknice rákosovité bylo provedeno ve dvou variantách, resp. modelech v závislosti na termínu sklizně a způsobu využití pro energetické účely. Cena lesknice rákosovité (jarní sklizeň) určené pro přímé spalování byla vypočtena metodikou minimální ceny a představuje tak cenu, za kterou by racionální investor minimálně svoji produkci prodával, aby dosáhl jím požadovaného výnosu z vloženého kapitálu. Cena byla vypočtena pro čtyři výnosové křivky (2,4–6 t (suš.)/ha/rok) a lze předpokládat, že cena (bez dotace) se bude pohybovat v rozmezí 77–186 Kč/GJ. V případě respektování současné výše dotace SAPS2, lze očekávat cenu ve výši 48–113 Kč/GJ v závislosti na výnosu.

Varianta produkce lesknice rákosovité (letní sklizeň) pro bioplynovou stanici se liší způsobem sklizně a počtem sklizní. Cena byla vypočtena stejnou metodikou pro čtyři výnosové křivky (3,2–8,1 t (suš.)/ha/rok) a lze předpokládat, že

cena (bez dotace) se bude pohybovat v rozpětí 133–286 Kč/GJ. V případě respektování dotace SAPS2, lze očekávat cenu 97–195 Kč/GJ. Poměrně velké rozpětí ceny je způsobeno vyšším rozpětím předpokládaných výnosových křivek K1 až K4. Dále dotace má v případě porostu lesknice rákosovité výrazně vyšší vliv na minimální cenu než je tomu v případě štěpky z plantáže RRD. Je to způsobeno tím, že dotace mají vyšší relativní podíl na celkových příjmech projektu (Havlíčková et al., 2008).

Relativně vyšší rozmezí minimální ceny, ve srovnání s plantáží RRD, je způsobeno o něco vyšším rozpětlem předpokládaných výnosů křivek K1 až K4 a jinou strukturou výdajů.

Z faktu, že jednotlivé formy biomasy nejsou jednoduše zaměnitelné a že existují významné rozdíly ve způsobu (ale i výhodnosti) užití, vyplývá fakt, že lze i do budoucna očekávat diferenciaci v cenách jednotlivých forem biomasy vyjadřovaných v Kč·GJ<sup>-1</sup> tepla v palivu.

#### Poděkování

Tyto výsledky byly získány s přispěním grantového projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ financovaného z výdajů na výzkum a vývoj z rozpočtové kapitoly Ministerstva školství, tělovýchovy a mládeže ČR. Dále bychom chtěli poděkovat panu ing. Zdeňkovi Strašilovi, CSc., za poskytnutí dat a spolupráci pro vytvoření ekonomického modelu.

#### LITERATURA

- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J., Weger, J. (2005): Biomasa obnovitelný zdroj energie – ekonomické a energetické aspekty. Acta Pruhonicensia, č. 79, Průhonice, VÚKOZ, 67 s.
- Havlíčková, K., Weger, J. a kol. (2006): Metodika analýzy potenciálu biomasy jako obnovitelného zdroje energie. Acta Pruhonicensia, č. 83, Průhonice, VÚKOZ, 96 s., ISBN 80-85116-48-0.
- Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J., Štěrba, Z., Hutla, P., Knápek, J., Vašíček, J., Strašil, Z., Kajan, M., Lhotský, R. (2008): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Průhonice, VÚKOZ, 83 s., ISBN 978-80-85116-65-6.
- Havlíčková, K. (2008): Výzkumná zpráva z řešení projektu 2B06131 Nepotravinářské využití biomasy za rok 2008. in knihovna VÚKOZ Průhonice.
- Mediavilla, V., Lehmann, J. and Meister, E. (1993): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1993, Bern, Bundesamt für Energiewirtschaft.
- Mediavilla, V., Lehmann, J., Meister, E., Stünzi, H., Serafin, F. (1994): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1994, Bern, Bundesamt für Energiewirtschaft.
- Mediavilla, V., Lehmann, J., Meister, E. (1995): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1995, Bern, Bundesamt für Energiewirtschaft.

Lechtenberg, V. L., Johnson, K. D., Moore, K. J., Hertel, J. M. (1981): Management of coolseason grasses for biomass production. Agronomy Abstracts, 73<sup>rd</sup> annual meeting, American society of agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

Olsson, R. (1993): Production methods and costs for reed canary grass as an energy crops. In Bioenergy Research Programme, Publication 2, Bioenergy 93 Conference, Finland.

Státní energetická koncepce České republiky (2004). Ministerstvo průmyslu a obchodu.

*Rukopis doručen: 13. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 20. 8. 2009*



# KONKURENCESCHOPNOST CÍLENĚ PĚSTOVANÉ BIOMASY

## COMPETITIVENESS OF INTENTIONALLY PLANTED BIOMASS

Jaroslav Knápek<sup>1</sup>, Kamila Havlíčková<sup>2</sup>

<sup>1</sup>České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6, knapek@fel.cvut.cz

<sup>2</sup>Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz

### Abstrakt

Cena biomasy je výsledkem tržní rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou na daném trhu. Tržní cena biomasy je ovlivňována faktory na straně poptávky a nabídky. Faktory na straně nabídky se promítají do ekonomických očekávání výrobců biomasy na základě ekonomické analýzy efektivity projektů na pěstování biomasy. Mezi faktory na straně poptávky patří zejména ceny a perspektivy dostupnosti konkurujících energetických komodit, regulační zásahy státu, jako jsou např. podpory užití biomasy pro výrobu elektřiny systémem garantovaných výkupních cen nebo ekologické daně uvalené na fosilní paliva. Mezi důležité faktory na straně poptávky patří i ceny, a zejména jejich výhled, emisních povolenek. Článek se zabývá modelováním budoucí ceny biomasy na základě analýzy faktorů na straně nabídky a poptávky.

**Klíčová slova:** konkurenceschopnost biomasy, cena biomasy, lesknice rákosovitá, ozdobnice, plantáže RRD

### Abstract

Price of biomass is defined by market equilibrium between supply and demand on given market. Market price is influenced by factors on supply and demand sides. Factors on supply side reflect the economic expectations of the biomass producers based on calculation of economic effectiveness of projects for “energy” biomass planting. Factors on demand side include e.g. prices and perspectives of availability of competitive energy commodities (in case of the Czech Republic coal is the main competitive fuel to biomass), regulatory interventions of state (e.g. support of biomass utilization for power generation via feed-in tariffs or ecological taxes imposed on fossil fuels), impact of emission allowances etc. Paper deals with modeling of future biomass price based on separate analysis of factors on supply and demand sides.

**Keywords:** biomass competitiveness, biomass price, reed canary grass, miscanthus, plantation of SRC

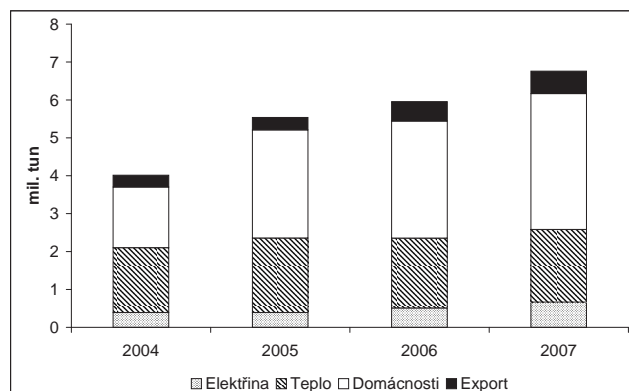
## 1 ÚVOD

Biomasa je v podmínkách České republiky rozhodujícím obnovitelným zdrojem energie. Podíl biomasy na celkovém příspěvku obnovitelných zdrojů energie (OZE) na primárních zdrojích energie (PEZ) v současnosti dosahuje cca 82 % – v roce 2007 přispěla biomasa 74 PJ k celkovým 91 PJ příspěvku OZE na PEZ. Celková spotřeba biomasy dosáhla v roce 2007 6,7 mil. tun, přičemž zhruba jedna polovina současné spotřeby biomasy je spotřebována domácnostmi pro individuální vytápění, vaření a přípravu TUV – viz graf 1.

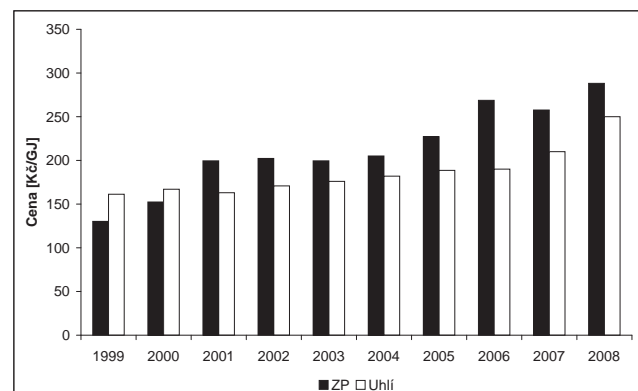
V důsledku nárůstu cen zemního plynu, tuzemského uhlí

a elektřiny v posledních několika letech roste i cena palivového dříví spotřebovávaného domácnostmi. Nárůst cen zejména zemního plynu a tuzemského tříděného uhlí pro domácnosti silně zvyšuje konkurenceschopnost cíleně pěstované biomasy potenciálně užívané pro vytápění jak v domácnostech, tak i malých lokálních kotelnách a výtopnách. Nárůst cen zemního plynu a hnědého uhlí pro domácnosti dokumentuje graf 2.

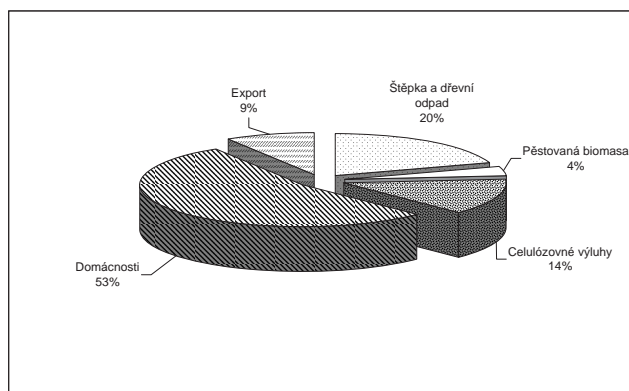
Dominantními druhy v současnosti užívané biomasy jsou palivové dříví, dřevní odpady a zbytková tuhá biomasa (viz graf 3). Užití tuhých biopaliv (bio pelet a bio briket vyráběných z biomasy) je v současnosti téměř zanedbatelné – v roce 2007 jejich tuzemská spotřeba činila pouze 54 000 tun briket a 16 000 tun pelet.



Graf 1 Vývoj užití biomasy v České republice (zdroj: MPO)



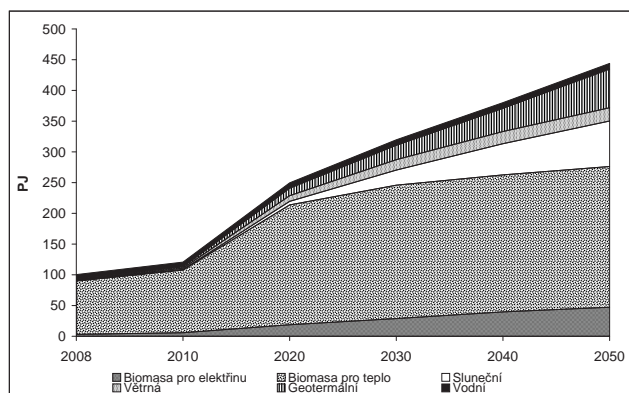
Graf 2 Nárůst cen uhlí (ořech 2) a zemního plynu (domácnost východní Čechy, roční spotřeba 3 000 m<sup>3</sup> – zdroj www.tscr.cz)



Graf 3 Struktura užití tuhé biomasy v České republice v roce 2007 (zdroj: MPO)

Výroba elektrické energie vyráběné na bázi spalování (tuhé) biomasy dosáhla v roce 2007 téměř 1 TWh (968 GWh), přičemž dvěma dominantními technologiemi užití biomasy zde bylo jednak spalování celulóznových výluhů (zbytků z papírenské výroby) a jednak tzv. spoluspalování. Při spoluspalování je ve (zpravidla) fluidních kotlích současných velkých uhelných elektráren spalováno hnědé uhlí s příměsí (cca 5–10 %) biomasy.

Biomasa je ve středně a dlouhodobém horizontu (cca 2020–2050) považována za rozhodující obnovitelný zdroj energie jak pro výrobu a dodávku tepla, tak i pro výrobu a dodávku elektřiny. Problémem však je, že relativně levná a snadno využitelná zdroje pevné (zpravidla zbytkové a odpadní) biomasy se rychle vyčerpávají a v současnosti jsou již do značné míry využité. Dlouhodobých předpokládaných cílů v rozvoji užití biomasy tak nelze dosáhnout jinak než s pomocí biomasy cíleně pěstované na zemědělské půdě pro energetické účely. Dlouhodobé perspektivy užití OZE včetně biomasy jsou prezentovány pomocí grafu 4 a grafu 5 (dle Pačesa a kol., 2008).



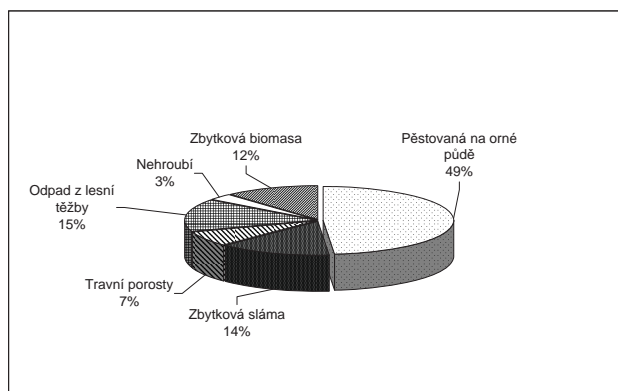
Graf 4 Scénář rozvoje užití OZE do roku 2050 (Pačes a kol., 2008)

## 2 METODIKA

### 2.1 Budoucí zdroje biomasy

Budoucí zdroje biomasy kryjící předpokládaný nárůst jejího užití jsou především:

- Vyšší užití zbytkové biomasy ze zemědělství, zejména slámy a trávy z trvalých travních porostů.



Graf 5 Scénář struktury užití biomasy v cílovém roce 2050 (Pačes, a kol., 2008)

- Cíleně pěstovaná biomasa na zemědělské půdě.
- Lesní těžební zbytky.

Lesní těžební zbytky mají teoreticky velký potenciál – typicky cca 15 % biomasy (v podobě nehroubí, kůry, jehličí) zůstává v místě těžby. Reálně je však možné počítat s podstatně menšími hodnotami. Důvodem pro redukcí potenciálu jsou jednak různé technické a ekonomické bariéry, které brání plnému využití těžebních zbytků (např. obtížně přístupný terén), a jednak je nutné významnou část zbytků po těžbě nechat na místě z biologických důvodů. Výzkumné práce ukazují, že reálně lze počítat max. s cca 0,2 t/ha (v sušině) (Havlíčková, Suchý, 2008).

Rozhodující část budoucí spotřeby biomasy tak půjde na vrub cíleně pěstované biomasy. Různé scénáře projekce užití biomasy do budoucna, které byly vytvořeny v posledních letech, počítají až s 1 mil. ha zemědělské půdy užitých pro tyto účely (z celkové rozlohy zemědělské půdy cca 3,6 mil. ha). V současnosti je užíváno cca 2,6 mil. ha orné půdy (obiloviny, brambory, píceiny atd.), zbytek jsou především trvalé travní porosty a pastviny.

Problematika užití biomasy je komplikována faktem, že několik různých konkurentů „soupeří“ o stejný omezený zdroj – zemědělskou půdu. Nejdůležitějšími spotřebiteli pěstované biomasy jsou především:

- výrobci kapalných biopaliv (např. plocha řepky olejky dosáhla 13,9 % z celkové rozlohy orné půdy),
- výrobci elektřiny (a tepla) z bioplynových stanic užívající cíleně pěstovanou biomasu (např. kukuřici), v budoucnu se mohou objevit i bioplynové stanice zaměřené na produkci bioplynu a jeho následnou úpravu na kvalitu zemního plynu a následnou dodávku produkce do systému zemního plynu,
- výrobci elektřiny a tepla v elektrárnách a teplárnách,
- výrobci tuhých biopaliv – pelet a briket.

Cíleně pěstovanou biomasu, kde primárním užitím je užitím pro výrobu elektřiny a tepla spalováním biomasy, je v podmínkách ČR možné rozdělit do následujících kategorií:

- Dřevní štěpka z plantáží rychle rostoucích dřevin (RRD). (Nedřevnaté) energetické byliny – např. víceleté porosty lesknice rákosovité, ozdobnice, štovíku.

- Klasické (jednoleté) zemědělské plodiny (např. kukuřice pro bioplynové stanice nebo triticales pro spalování a výrobu tuhých biopaliv).

Rozvoj užití cíleně pěstované biomasy jakékoliv kategorie je závislý jednak na její ekonomické konkurenceschopnosti vůči klasickým palivům a energetickým zdrojům, jednak na odstranění řady bariér, které dosud brání rozvoji jejich pěstování a užití. Cena biomasy, stejně tak jako každé jiné energetické komodity, je jedním z rozhodujících faktorů při rozhodování podnikatelů jak na straně nabídky, tak i na straně poptávky po biomase. Spotřebitelé biomasy potřebují informace o ceně biomasy, aby mohli určit ekonomickou efektivnost svých zájmů na investice do energetických zdrojů užívajících biomasu (např. investice do výtopny užívající biomasu namísto zemního plynu). Producenti biomasy naopak potřebují tuto informaci, aby se mohli rozhodnout, zda přejít od klasické zemědělské výroby (v principu s jednoletým horizontem rozhodování) k pěstování biomasy pro energetické účely. Pěstování biomasy pro energetické účely má tu zvláštnost, že energetické podniky díky vysokým počátečním investicím do technologie (např. elektrárenský kotel na biomasu) vyžadují dlouhodobé garance dodávky biomasy. Bez garance dodávek by investice do nového zdroje na bázi biomasy byla pro energetické podniky příliš riskantní.

## 2.2 Modelování ceny biomasy

Cena biomasy (stejně tak jako v případě jakékoliv jiné komodity) je výsledkem tržní rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou. Na cenu biomasy je tak možné se dívat ze dvou různých úhlů pohledu:

- Pohled výrobce (strana nabídky): výrobce bude investovat do projektu na produkci biomasy pro energetické účely pouze tehdy, pokud bude moci získat takovou cenu biomasy, která mu zajistí odpovídající výnos z vloženého kapitálu. Tomuto výnosu z vloženého kapitálu odpovídá tzv. minimální cena produkce  $c_{\min}$ .
- Pohled spotřebitele (strana poptávky): spotřebitel bude akceptovat pouze takovou cenu biomasy, která je konkurenceschopná vůči jiným palivům představujícím substitut biomasy pro daný účel (zpravidla se jedná o zemní plyn, elektřinu či tuzemské hnědé uhlí používané pro vytápění). Spotřebitel pak bude investovat do projektu na užití biomasy pouze tehdy, pokud mu tento projekt (analogicky jako v případě producenta biomasy) zajistí odpovídající výnos z vloženého kapitálu. Tomu pak odpovídá maximální cena biomasy, kterou je ochoten akceptovat – tzv. maximální cena biomasy  $c_{\max}$ .

Jakékoliv změny v nabídce, resp. poptávce biomasy ovlivňují tržní cenu biomasy – viz graf 6. Současnou situaci na českém trhu s biomasou lze charakterizovat následovně:

- Neexistuje plně funkční trh s biomasou, rozsah trhu s biomasou je omezený a má především regionální charakter. Okolo 2/3 v současnosti spotřebovávané biomasy má specifický charakter (individuální spotřeba palivového dříví domácnostmi a celulósová výluhy).
- Pouze malá část užívané biomasy je cíleně pěstovaná bioma-

- sa, dominantní je stále podíl zbytkové či odpadní biomasy.
- Užití biomasy (s výjimkou spoluspalování) je decentralizované a biomasa je mimo domácnosti využívána především v malých lokálních výtopnách.
- Užití pelet a briket vyráběných z biomasy je dosud velmi nízké – viz výše.

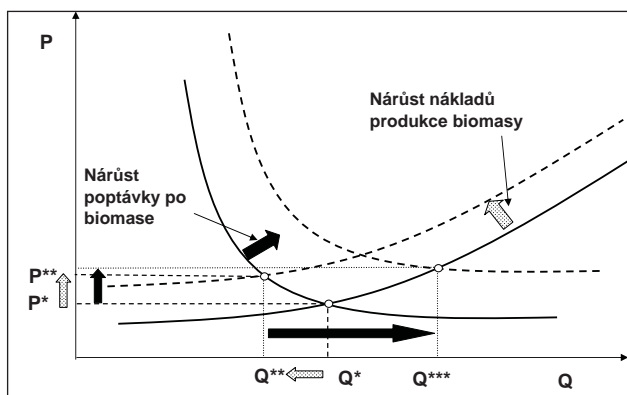
Všechny výše uvedené faktory způsobují to, že současná cena biomasy na trhu nemůže být považována do budoucna za reprezentativní hodnotu. Rozvoj užití biomasy není možný bez rozvoje cíleného pěstování biomasy a cena této biomasy (jako marginálního zdroje) nemůže být odvozována od cen zbytkové či odpadní biomasy. Na druhou stranu i změny na straně poptávky mohou významně ovlivňovat konkurenceschopnost biomasy a cenu, kterou budou její spotřebitelé akceptovat.

## 2.3 Modelování strany nabídky

Výpočet ceny biomasy z pohledu jejího producenta (tzv. minimální ceny  $c_{\min}$ ) se provádí s pomocí ekonomických modelů projektů zaměřených na pěstování biomasy. Tyto ekonomické modely pro projekty na pěstování jednotlivých energetických plodin (např. plantáží RRD, porostů leskvice rákosovité atd.) jsou založeny na následujících základních principech:

- Modely musí zachycovat všechny procesy, které jsou nezbytné pro realizaci projektů na pěstování biomasy.
- Ocenění jednotlivých procesů vychází z tržních cen jednotlivých vstupů (služeb, lidské práce, osiva, nájmu půdy atd.).
- Modely musí odrážet reálné podmínky podnikatelského prostředí – daňový systém, očekávanou inflaci, systém podpor atd.
- Musí být oceněny všechny procesy důsledným aplikováním pravidla „opportunity cost“.
- Musí být respektována časová hodnota peněz, což je zejména důležité u víceletých projektů.

Detailní informace o tvorbě a užití ekonomických modelů pro tyto účely lze např. nalézt v práci Havlíčkové et al. (2008). Cena biomasy (daného druhu biomasy) se z pohledu investorů do jejího pěstování nemůže dlouhodobě pohybovat pod



Graf 6 Cena biomasy jako výsledek rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou

hodnotou minimální ceny  $c_{\min}$ . Minimální cena tak má interpretaci jako dlouhodobé marginální náklady na zajištění biomasy. To vyplývá z předpokladu, že cíleně pěstovaná biomasa bude tvořit dominantní část v budoucnosti užívané biomasy.

Minimální cena biomasy se počítá z podmínky, že čistá současná hodnota projektu je rovná nule:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_n} CF_t \cdot (1 + r_n)^{-t} = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{T_n} [C_{\min} \cdot Q_t + Dotace_t] \cdot (1 + r_n)^{-t} = \sum_{t=1}^{T_n} Výdaje_t \cdot (1 + r_n)^{-t} \quad (2)$$

kde

$T_n$  je doba životnosti projektu

$Q_t$  je množství pěstované biomasy (v tunách nebo GJ)

$r_n$  nominální diskont

$t$  příslušný rok v průběhu realizace projektu

Minimální cenu biomasy je výhodné počítat v Kč/GJ výhřevnosti. To pak umožňuje přímé porovnávání konkurenceschopnosti biomasy s jinými palivy a jednotlivých druhů biomasy mezi sebou.

Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují stranu nabídky, jsou:

- Hodnota diskontu (časové hodnoty peněz), který odráží riziko podnikání.
- Nárůst cen jednotlivých vstupů – práce, služeb apod.
- Náklady na nájem půdy. Nájem půdy jsou v současnosti významně nižší než je tomu v zemích EU15.
- Výnosy biomasy. Výnosy mohou být zvýšeny optimalizací agrotechnických postupů a zejména výběrem vhodných druhů biomasy pro dané podmínky stanoviště.
- Výše podpor. U víceletých projektů nejde jen o současnou výši podpor, ale i o předpoklad jejich vývoje do budoucnosti.

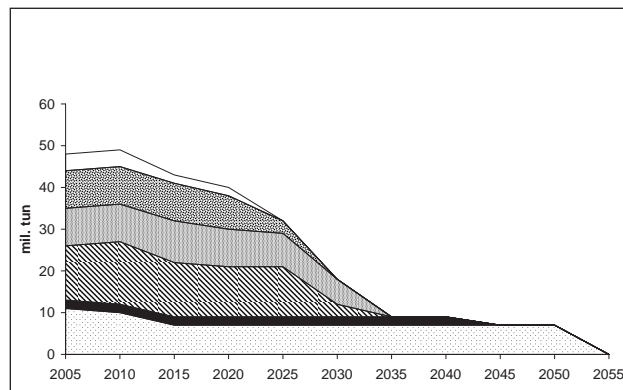
Projekty zaměřené na pěstování různých druhů cíleně pěstované biomasy mají různou strukturu výdajů a zároveň různou strukturu příjmů. Z toho pak vyplývá i různá citlivost na danou změnu jednotlivých vstupů. Ekonomická efektivnost plantáží RRD je více závislá na špatném počasí na počátku projektu, ale po úspěšném založení plantáže mají projekty RRD nižší citlivost na fluktuaci většiny vstupů (náklady na pracovní sílu, na hnojení atd.). Naopak např. projekt na pěstování lesknice rákosovité má z hlediska ekonomické efektivity opačnou citlivost na jednotlivé vstupy.

#### 2.4 Modelování strany poptávky

Poptávka po biomase závisí na několika různých faktorech, přičemž v podmínkách ČR mezi nejdůležitější faktory patří:

- současné a zejména budoucí ceny emisních povolenek,
- ceny a dostupnost tuzemského hnědého uhlí,
- ceny ropy a zemního plynu,
- politické cíle a regulatorní opatření,
- hodnoty ekologických daní uplatněných na uhlí, ostatní fosilní paliva a elektřinu,
- vývoz biomasy.

Jak již bylo uvedeno, biomasa je do budoucnosti rozhodujícím obnovitelným zdrojem. Lze předpokládat, že biomasa bude především nahrazovat domácí hnědé uhlí, které je v současnosti široce používáno pro výrobu elektřiny a tepla. Zhruba 64 % elektřiny je v současnosti vyráběno z uhlí (a cca 30 % v jaderných elektrárnách). Hnědé uhlí je rovněž využíváno pro výrobu tepla v teplárnách a výtopnách (v soustavách CZT) a pro individuální vytápění domácností. Okolo 24 % domácností na venkově stále ještě využívá nízkokvalitní tuzemské hnědé uhlí pro vytápění. Výhled dostupnosti zásob uhlí, za předpokladu, že nedojde k prolomení tzv. územních limitů bránících rozvoji těžby hnědého uhlí, uvádí graf 7.



Graf 7 Výhled disponibilních zásob uhlí (Pačes a kol., 2008)

Pokračující pokles dostupnosti uhlí bude podporovat poptávku po biomase, která je přímým substitutem uhlí zejména v oblasti zásobování teplem. Dalším významným faktorem na straně poptávky je budoucí cena emisních povolenek, což je, zejména v případě české energetiky dosud závislé na tuzemském hnědém uhlí, velmi důležitý faktor. Nárůst cen emisních povolenek povede k tomu, že spotřebitelé budou ochotni zaplatit za biomasu vyšší cenu.

Lze předpokládat, že v nejbližším horizontu do roku 2015–2020 spalování bude rozhodujícím spotřebitelem významně ovlivňujícím či dokonce definujícím cenu biomasy. V současnosti (rok 2007) se pro výrobu elektřiny používá cca 665 tis. tun biomasy (z toho cca 222 tis. tun celulózových výluhů), podstatná část užití biomasy (mimo celulózové výluhy) je užitá pro spalování. Užití biomasy pro výrobu elektřiny včetně technologie spalování je v ČR podporováno dle zákona 180/2005 Sb. Spalování je podporováno tzv. zeleným bonusem, který je placen distribučními společnostmi a prostřednictvím speciálního poplatku přenášen na koncové spotřebitele elektřiny. Zelené bonusy jsou příplatkem k tržní ceně elektřiny a jejich výše  $GB_{cf}$  v případě spalování je stanovována dle následujícího vztahu:

$$GB_{cf} > \frac{d}{W} + \Delta f_c - sa \cdot k \quad (3)$$



kde

$d$  jsou odpisy investice vyvolané užitím biomasy (typicky do skladování a do zařízení na přidávání biomasy do uhlí)

$W$  je výše výroby elektřiny z biomasy

$\Delta fc$  je nárůst měrných palivových nákladů z titulu užití biomasy

$sa$  je cena ušetřené emisní povolenky

$k$  je koeficient participace na ušetřených emisních povolenkách z titulu jednotkové výroby elektřiny z biomasy

Pro stanovení zelených bonusů se v současnosti pracuje s předpokladem relativně nízké ceny emisní povolenky (5–8 EUR) a s očekávanou cenou cíleně pěstované biomasy ve výši 160–170 Kč/GJ. Zelené bonusy v současnosti významně ovlivňují cenu cíleně pěstované biomasy a ve své podstatě nepřímo určují její cenu (Knápek, Vašíček, 2008).

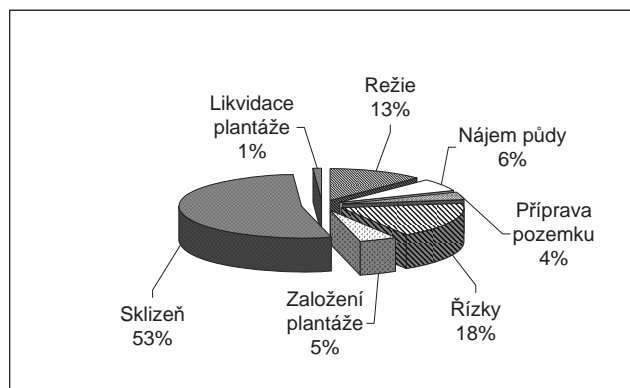
Výroba elektřiny a tepla je vyjmuta z placení ekologické daně uvalené na fosilní paliva od roku 2008, výše ekologické daně uvalené na uhlí dosahuje 8,6 Kč na 1 GJ spalného tepla. Budoucí vývoj ekologických daní je velmi neurčitý.

### 3 VÝSLEDKY

#### 3.1 Výsledky modelování strany nabídky pro vybrané energetické plodiny

##### Plantáže RRD

Ekonomický model plantáže RRD byl založen na následujících předpokladech: rozloha plantáže 5 ha, doba životnosti plantáže 21 let, sklizeň s pomocí speciální mechanizace, biomasa je produkována v podobě dřevní štěpky, doprava na vzdálenost 10 km, výnosové křivky biomasy byly odvozeny z dat z experimentálních plantáží RRD, rozsah nezbytných procesů byl stanoven na základě procesní analýzy, nominální diskont 8,6%, průměrná inflace 2,5 %, sklizeň v zimním období (předpokládaná vlhkost štěpky je 52,5 %), tříleté obmýcí. Struktura diskontovaných výdajů projektu je uvedena v grafu 8.



Graf 8 Struktura diskontovaných výdajů plantáže RRD

Minimální cena biomasy (štěpky)  $c_{\min}$  byla vypočtena pro tři různé předpoklady podpor:

- bez podpory – hodnota  $c_{\min}$
- hodnota při předpokladu současné výše dotace SAPS (3 073 Kč/ha v roce 2008) a 8,5% nárůst výše této podpory až do roku 2017 – hodnota  $c_{\min,S1}$
- hodnota při předpokladu současné výše dotace SAPS (3 073 Kč/ha v roce 2008) a 0% nárůst výše – hodnota  $c_{\min,S2}$

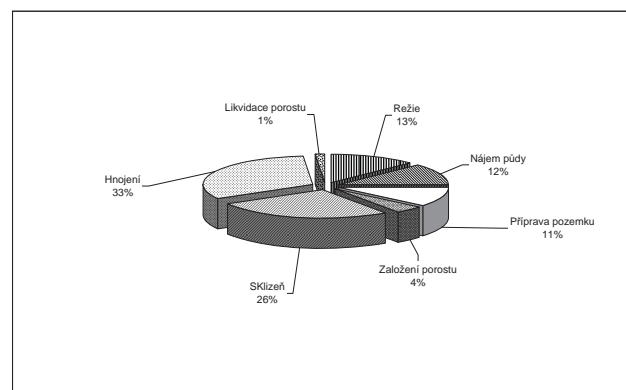
Výše minimální ceny je vysoce citlivá zejména na předpoklad výnosové křivky biomasy – viz tab. 1.

Tab. 1 Minimální ceny biomasy z plantáží RRD v Kč/GJ

t(S)/ha,rok	$c_{\min}$	$c_{\min,S1}$	$c_{\min,S2}$
5,2	176	110	137
6,8	147	97	118
9,5	122	86	100
12,1	109	80	92

##### Lesknice rákosovitá

Ekonomický model plantáže porostu lesknice rákosovité byl založen na následujících předpokladech: rozloha porostu 10 ha, doba životnosti porostu 10 let, biomasa je produkována v podobě balíků, doprava na vzdálenost 10 km, výnosové křivky biomasy byly odvozeny z dat z experimentálních porostů v podmínkách ČR, rozsah nezbytných procesů byl stanoven na základě procesní analýzy, nominální diskont 8,6 %, průměrná inflace 2,5 %, jarní sklizeň (předpokládaná vlhkost 20 %). Struktura diskontovaných výdajů projektu je uvedena v grafu 9.



Graf 9 Struktura diskontovaných výdajů porostu lesknice rákosovité

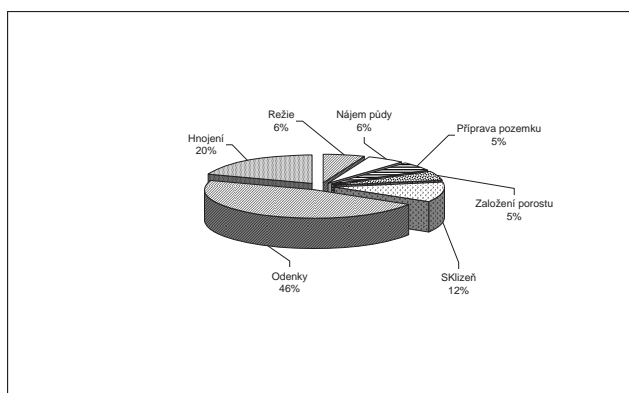
Minimální cena byla vypočtena pro tři stejné předpoklady podpor, jako tomu bylo v případě plantáží RRD. Výše minimální ceny je vysoce citlivá zejména na předpoklad výnosové křivky biomasy – viz tab. 2.

Tab. 2 Minimální ceny biomasy z porostů lesknice rákosovité v Kč/GJ

t(S)/ha,rok	c <sub>min</sub>	c <sub>min</sub> S1	c <sub>min</sub> S2
2,4	186	71	113
3,6	125	49	77
4,8	95	38	59
6,0	77	31	48

### Ozdobnice

Ekonomický model plantáže porostu ozdobnice byl založen na následujících předpokladech: rozloha porostu 10 ha, doba životnosti porostu 10 let, biomasa je produkována v podobě obřích balíků, doprava na vzdálenost 10 km, výnosové křivky biomasy byly odvozeny z dat z experimentálních porostů v podmínkách ČR, rozsah nezbytných procesů byl stanoven na základě procesní analýzy, nominální diskont 8,6 %, průměrná inflace 2,5 %, jarní sklizeň (předpokládaná vlhkost 20 %). Struktura diskontovaných výdajů projektu je uvedena v grafu 10.



Graf 10 Struktura diskontovaných výdajů porostu ozdobnice

Minimální cena byla vypočtena pro tři stejné předpoklady podpor, jako tomu bylo v případě plantáží RRD. Výše minimální ceny je vysoce citlivá zejména na předpoklad výnosové křivky biomasy – viz tab. 3.

Tab. 3 Minimální ceny biomasy z porostů ozdobnice v Kč/GJ

t(S)/ha,rok	c <sub>min</sub>	c <sub>min</sub> S1	c <sub>min</sub> S2
2,4	249	181	206
3,6	173	127	144
4,8	135	101	113
6,0	112	85	95

### 3.2 Výsledky modelování ze strany poptávky a odhad konkurenceschopnosti cíleně pěstované biomasy

Vzhledem k diskusi provedené v kap. 2.4 lze očekávat, že cena tuzemského hnědého uhlí a ceny emisních povolenek budou dvěma dominantními faktory na straně poptávky, které budou ovlivňovat konkurenceschopnost biomasy.

Pro modelování strany poptávky byly použity následující předpoklady:

- výroba elektřiny a tepla bude dominantním spotřebitelem tuhé biomasy,
- výtopny a teplárny v současnosti užívající tuzemské hnědé uhlí budou tvořit marginální poptávku po biomase,
- měrné emise CO<sub>2</sub> z tuzemského hnědého uhlí jsou rovny 0,36 t CO<sub>2</sub>/MWh výhřevnosti,
- cena emisních povolenek v červnu 2009 byla 13 EUR,
- cena hnědého uhlí vhodného pro užití v menších zdrojích pro zásobování teplem je cca 4,1 EUR/GJ (uhlí ořech, cena převzata z Českomoravské komoditní burzy Kladno z května 2009),
- spodní a horní odhad vzájemné kombinace vývoje cen hnědého uhlí a emisních povolenek dle dvou scénářů uvedených v tab. 4,
- užití výnosových křivek K<sub>2</sub> a K<sub>3</sub> jednotlivých uvažovaných druhů pěstované biomasy (tzn. vyloučení nevhodnějších a nejhorsších lokalit pro pěstování),
- pěstování biomasy není samostatně podporováno.

Pro odhad vývoje cen uhlí a emisních povolenek byly použity dva scénáře reprezentující možný spodní a horní odhad vývoje výše jejich cen – viz tab. 4.

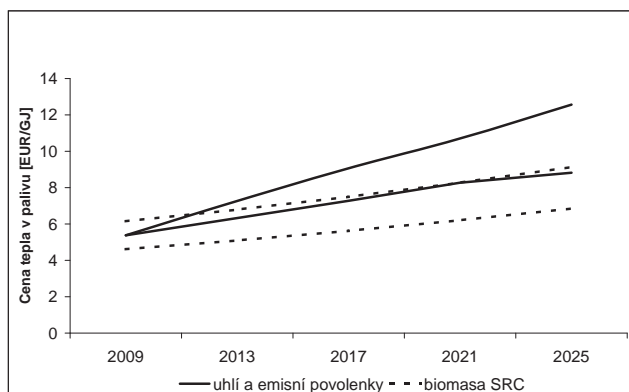
S využitím výše uvedených předpokladů pro modelování strany nabídky a výsledků modelování strany poptávky lze vyjádřit konkurenceschopnost cíleně pěstované biomasy oproti hnědému uhlí (vhodnému pro menší zdroje zásobování teplem) s pomocí grafů 11 a 12. Tyto obrázky kombinují výsledky modelování jak strany poptávky, tak i strany nabídky. Z výsledků analýzy lze dovést, že se cíleně pěstovaná biomasa stává konkurenceschopná s tuzemským uhlím nejpozději v horizontu 2012–2017.

Platnost závěrů o konkurenceschopnosti biomasy platí pouze v případě odstranění všech bariér bránících rozvoji pěstování (blíže viz Knápek, Beneš, Vašíček (2008)). Mezi nejdůležitějšími bariérami lze uvést např. strukturu vlastnictví zemědělské půdy, kdy 84 % zemědělské půdy je pronajímáno (zpravidla na relativně krátké doby), nedostatek zkušeností s pěstováním biomasy pro sektor energetiky, konzervatismus farmářů, chybějící systémová strategie podpory biomasy pro výrobu elektřiny a tepla, konkurence odvětví výroby elektřiny

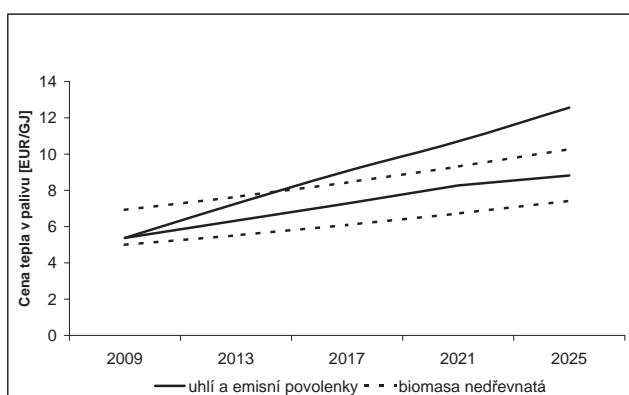
Tab. 4 Scénáře vývoje cen emisních povolenek a ceny uhlí

Veličina	2009	2013	2017	2021
Cena povolenky [EUR] – nízký s.	13	20	25	30
Cena povolenky [EUR] – nízký s.	13	25	33	37
Měrná cena uhlí [EUR/GJ] – nízký s.	4,1	4,3	4,8	5,3
Měrná cena uhlí [EUR/GJ] – nízký s.	4,1	4,8	5,8	7,0

ny a tepla (výroby tuhých biopaliv) s odvětvím výroby kapalných biopaliv, atd.



Graf 11 Scénář konkurenceschopnosti biomasy z plantáží RRD



Graf 12 Scénář konkurenceschopnosti biomasy z porostů lesknice rákosovité a ozdobnice

#### 4 DISKUZE A ZÁVĚRY

Cena biomasy je jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících rozhodování jak producentů biomasy, tak i jejich spotřebitelů. Cena biomasy je výsledkem tržní rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou po biomase a ovlivňují ji faktory jak ze strany poptávky, tak i ze strany nabídky.

Ekonomické modely jsou nástrojem pro analýzu efektivnosti projektů zaměřených na cílené pěstování biomasy pro energetické účely a umožňují stanovit cenu biomasy z pohledu jejich producentů. Takto stanovená minimální cena biomasy má charakter marginálních nákladů biomasy.

Dominantními faktory na straně poptávky jsou především ceny emisních povolenek a tuzemského hnědého uhlí. To je dáno faktem vysokého podílu užití tuzemského hnědého uhlí pro výrobu tepla a elektřiny.

Cíleně pěstovaná biomasa je přirozeným substitutem hnědého uhlí užívaného v teplárnách a výtopnách pro výrobu a dodávku tepla. Lze očekávat, že pěstovaná biomasa (i za předpokladu neexistence podpor na její pěstování) se stane konkurenceschopná s tuzemským hnědým uhlím používaným pro výrobu tepla v horizontu 2012–2017.

Při posuzování budoucího rozvoje užití biomasy pro energetické účely je třeba rozlišovat tři specifické okruhy odběratelů biomasy: domácnosti, malé a střední zdroje (typicky výtopy

a menší teplárny), velké zdroje (velké teplárenské a elektřárenské zdroje). Odběratelé z těchto skupin jsou charakterističtí odlišnými požadavky na kvalitu biomasy a uhlí, které vyplývají z typu technických zařízení užívaných pro spalování uhlí a biomasy. Spotřebovávané uhlí se liší nejen svými kvalitativními parametry, ale i (a to podstatně) cenou. Navíc zdroje relativně kvalitnějšího uhlí, které spotřebovávají teplárny a domácnosti, se vyčerpávají daleko rychleji, než zdroje tzv. energetického uhlí, které je možné spotřebovávat ve velkých zdrojích. Přesnější posouzení konkurenceschopnosti biomasy oproti uhlí by tak bylo třeba provádět vždy vůči konkrétnímu segmentu spotřebitelů. Nicméně závěry formulované v tomto článku platí obecně s tím rozdílem, že časový horizont konkurenceschopnosti biomasy může být v čase poněkud navzájem posunut.

#### Poděkování

Tyto výsledky byly získány s přispěním grantového projektu SP/3g1/24/07 „Metodika a analýza potenciálu biomasy v ČR“ financovaného z výdajů na výzkum a vývoj z rozpočtové kapitoly Ministerstva životního prostředí ČR. Dále bychom chtěli poděkovat panu ing. Zdeňkovi Strašilovi, CSc., za poskytnutí dat a spolupráci pro vytvoření ekonomických modelů.

#### LITERATURA

- Havlíčková K., Suchý J. (2008): Metodika analýzy potenciálu biomasy s užitím GIS. *Acta Pruhoniciana*, č. 89, s. 17–22.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J. (2008): Modeling of Intentionally Planted Biomass Prices in CR. In 10<sup>th</sup> World Renewable Energy Congress – WREC. Oxford, Elsevier, vol. 1, p. 160–166.
- Knápek, J., Vašíček, J. (2008): Factors Influencing Green Bonus Value in Case of Biomass Co-firing. In *Riadenie v energetike '08*. Bratislava, Slovenská technická univerzita v Bratislave, p. 1–6, ISBN 978-80-227-2883-6.
- Knápek, J., Beneš, M., Vašíček, J. (2008): What are the Major Barriers of RES-E Penetration in the Czech Republic? In 10<sup>th</sup> World Renewable Energy Congress – WREC X. Elsevier, Oxford, vol. 1, p. 2663–2668.
- Pačes, V., Bubeník, J., Dlouhý, V., Hrdlička, F., Kubín, M., Moos, P., Otčenášek, P., Sequens, E., Vlk, V. (2008). Zpráva nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu.

*Rukopis doručen: 15. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 12. 8. 2009*



# METODY ZPRACOVÁNÍ POTENCIÁLŮ TRVALÝCH TRAVNÍCH POROSTŮ, SLÁMY A RYCHLE ROSTOUCÍCH DŘEVIN V SYSTÉMU GIS

## METHODS FOR ASSESSING BIOMASS POTENTIAL OF PERMANENT GRASSLANDS, RESIDUAL STRAW AND FAST-GROWING TREES USING A GIS APPLICATION

Kamila Havlíčková, Jiří Suchý

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz, suchy@vukoz.cz

### Abstrakt

Článek se zabývá metodami a výsledky pro stanovení potenciálu biomasy v ČR s využitím geografického informačního systému. Důsledné zmapování potenciálu biomasy bude sloužit jako podklad pro vytvoření národní strategie rozvoje využití biomasy jako nejdůležitějšího OZE (obnovitelného zdroje energie), která v současnosti (na rozdíl od některých zemí EU) chybí. Důsledné zmapování potenciálu biomasy umožňuje efektivnější rozhodování jak investorů, tak i státní správy při realizaci projektů na využívání biomasy a nastavení efektivního systému podpor. Postup při stanovení potenciálu biomasy je založen na přiřazování výnosů jednotlivých zdrojů biomasy ze zemědělské půdy (druhů plodin) podle bonitačních půdně ekologických jednotek (BPEJ). Na základě provedených analýz a výpočtů vyšel potenciál reziduální slámy z konvenčního zemědělství v České republice na úrovni 90 PJ/rok. Hlavním výsledkem této metody jsou výnosové mapy různých zdrojů biomasy, které slouží pro vytipování vhodných oblastí pro pěstování jednotlivých plodin, resp. zdrojů biomasy.

**Klíčová slova:** potenciál biomasy, rychle rostoucí dřeviny, energetické plodiny, trvalé travní porosty, reziduální sláma, bonitačně půdně ekologická jednotka, geografický informační systém

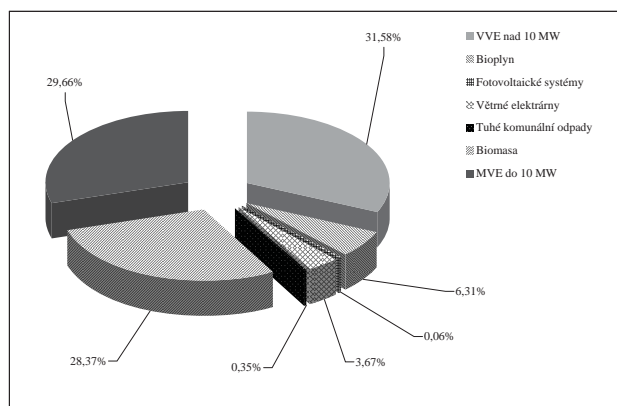
### Abstract

The paper deals with the methodology for and results of determining biomass potential in the Czech Republic using a GIS application. Detailed mapping of biomass potential is the basis for creating a national development strategy for using biomass as the most important renewable resource. In comparison to other EU countries, the Czech Republic has not yet completed this strategy. Detailed mapping of biomass potential enables effective decision-making, helping not only investors, but also government stakeholders deciding on biomass-utilization projects and setting an effective support system. The method for determining biomass potential is based on assigning yields from individual biomass crops from agricultural soils (energy crop species) to individual protection and ecological soil units (BPEJ). Potential of residual straw was assessed to be on the level of 90 PJ/year from conventional agriculture in the Czech Republic based on carried out analyses and calculations. Yield maps of different biomass sources are main result of presented methodology. They can be used for selection of suitable areas for growing of individual crops and biomass sources.

**Keywords:** potential of biomass, fast-growing trees, energy crops, permanent grassland, residual straw, individual protection and ecological soil units (BPEJ), GIS

## 1 ÚVOD

Indikativní cíle podílu OZE pro jednotlivé členské státy vychází ze směrnice 2001/77/EC o podpoře elektřiny z OZE na vnitřním trhu s elektřinou v EU. Jsou definovány jako procentuální podíly výroby elektřiny na hrubé domácí spotřebě elektřiny v každém členském státě. Národní indikativní cíl tohoto podílu je pro Českou republiku stanoven na 8 % v roce 2010. Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů se v roce 2007 podílela na tuzemské hrubé spotřebě elektřiny 4,7 %. Podíl obnovitelné energie na primárních energetických zdrojích (PEZ) v roce 2007 činil 3,9 %. Tento odhad se vztahuje k energii obsažené v použitém palivu a nezohledňuje účinnost zařízení (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE za rok 2006. Ministerstvo průmyslu a obchodu).



Graf 1 Výroba elektřiny z OZE v roce 2007 v ČR

Zdroj: Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE za rok 2007. Pozn. VVE – Velké vodní elektrárny, MVE – Malé vodní elektrárny.

Biomasa je považována současnou platnou Státní energetickou koncepcí (SEK) jako rozhodující – dominantní druh OZE. Jeho současný rozvoj však brzdí různé bariéry, jednou z nejvýznamnějších je právě absence důsledného zmapování potenciálu jednotlivých forem biomasy. Vyřešení této otázky umožní formulaci strategie užití biomasy jako podklad pro revizi SEK a současně jako podklad pro aktualizaci schémat podpor.

Biomasa je z hlediska technicky využitelného potenciálu pro ČR nejperspektivnější z obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a tepla. Její využití je technicky dobře zvládnuto a není spojeno s problémy s nestabilitou dodávek, jako je tomu např. u energie větrné, sluneční, nebo vodní. Stabilitu dodávek lze maximalizovat současným využíváním biomasy s neobnovitelnými zdroji. Hlavním a zároveň obtížně překonatelným limitem využití biomasy je její množství na trhu a dopravní dostupnost.

V roce 2007 došlo k zásadnímu meziročnímu zvýšení výroby elektřiny z biomasy z 731 GWh na 968 GWh. Zčásti je to také tím, že přibylí noví výrobci spoluspalující biomasu s uhlím. Vedle „tradičních“ paliv – dřevního odpadu, pilin a štěpků (403 tisíc tun) a celulósových výluhů (222 tisíc tun) byl v roce 2007 zaznamenán pokles spotřeby neaglomerované rostlinné hmoty (ze 62 tisíc tun na 16 tisíc tun). Oproti tomu vzrostla spotřeba pelet a briket z rostlinných materiálů (ze 16 na 24 tisíc tun). V roce 2007 bylo k výrobě elektřiny celkem použito 665 tisíc tun biomasy, což je podstatně více než v roce 2006 (512 tisíc tun). Nárůst byl hlavně zaznamenán u dřevního odpadu, pilin a štěpků. Energie obsažená v biomase spotřebovaná na výrobu elektřiny činila 7 358 428 GJ (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE za rok 2006, Ministerstvo průmyslu a obchodu).

V současnosti je v České republice cca 4 264 000 ha zemědělské půdy, která tvoří přibližně polovinu (54 %) celkové rozlohy státu. Více než třetinu půdního fondu tvoří lesní pozemky. Od roku 1995 ubylo 15 000 ha zemědělské půdy, oproti tomu výměra lesní půdy vzrostla o 16 000 ha. Zatímco výměra orné půdy v posledních deseti letech trvale klesá, výměra pozemků evidovaných jako trvalé travní porosty se naopak o 71 000 ha zvýšila. Polovina zemědělského půdního fondu se nachází v oblastech méně příznivých pro hospodaření (tzv. LFA oblasti), a to jsou právě oblasti, kde je možné pěstovat energetické plodiny.

## 2 MATERIÁL A METODY

### 2.1 Určení klimatických regionů

Klimatický region (KR) zahrnuje území s přibližně shodnými klimatickými podmínkami pro růst a vývoj zemědělských plodin. Klimatické regiony byly vyčleněny výhradně pro účely bonitace zemědělského půdního fondu. Kolektiv autorů z VÚMOP, v.v.i. k vymezení klimatických regionů použil podklady ČHMÚ pro tento účel specificky vypracované. Rozhodujícími kritérii pro stanovení klimatických regionů byly roční sumy průměrných denních teplot vzduchu > 10 °C, průměrná roční teplota vzduchu, průměrný roční úhrn srážek, pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období a vlá-

hová jistota ve vegetačním období. Doplňujícími indikátory pro stanovení klimatických regionů bylo hodnocení nadmořských výšek, fénové jevy, expoziční ráz krajiny, místní údaje literárních pramenů a vztahy k dlouhodobým výnosovým řadám. V návaznosti na určený počet míst kódu BPEJ bylo v závěru hodnocení vyčleněno pouze 10 klimatických regionů označených číslem 0–9 (1. místo v pětimístném kódu bonitačně půdně ekologické jednotky – BPEJ).

Z agregovaných dat vrstvy BPEJ za celou Českou republiku se ořezaly jednotlivé vrstvy BPEJ podle hranic krajů a vykreslily se klimatické regiony (položka KR) za celou ČR a za jednotlivé kraje – Příloha č. 1 a Příloha č. 2.

### 2.2 Vytvoření výnosových map pro ornou půdu a trvalé travní porosty

Pro získání vrstev Orná půda a trvalé travní porosty (TTP) se provedl průnik mezi vrstvami LPIS (mapa skutečných kultur půdních bloků) a agregovanými daty BPEJ pro všech 14 krajů – obr. 1, Příloha č. 3 a Příloha č. 4.

První varianta mapy výnosu byla vytvořena připojením databázové tabulky se známými výnosy pšenice v roce 1990 k vrstvě Orná půda pro všech 14 krajů. Vykreslení výnosů pšeničné slámy podle krajů na orné půdě v roce 1990 – Příloha č. 5 a 6. Výnos pšeničné slámy se upraví koeficientem 0,8 ve vztahu k výnosu pšenice (zrna).

Druhá varianta mapy výnosu byla vytvořena připojením databázové tabulky se známými výnosy pšenice v roce 1997 k vrstvě Orná půda pro všech 14 krajů. Vykreslení výnosů pšeničné slámy podle krajů na orné půdě v roce 1997 – Příloha č. 7 a 8.

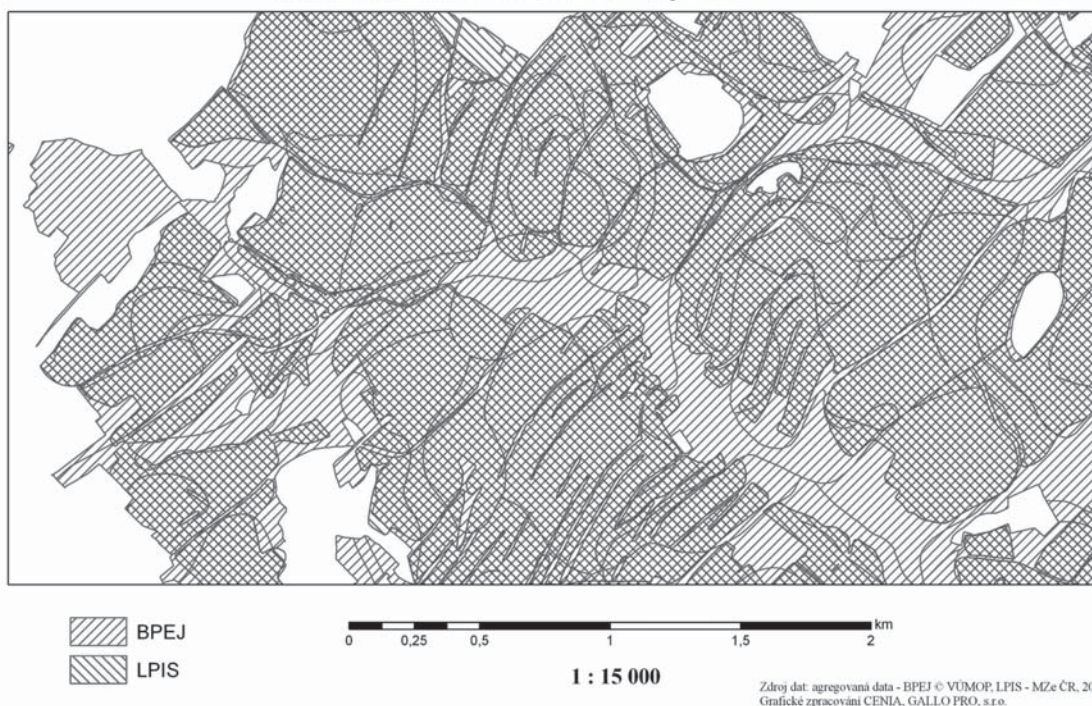
Pro vrstvy TTP byly postupně vytvořeny 3 varianty výnosových map. První dvě podobně jako u vrstvy Orná půda, tedy připojením databázové tabulky se známými výnosy pšenice v roce 1990 a 1997 – (Příloha č. 9 a 10). Třetí varianta výnosových map byla určena připojením databázové tabulky s výnosy RRD – (Příloha č. 11 a 12). Tyto výnosy byly určeny na základě zkušeností v pěstování RRD na výzkumných plochách VÚKOZ, v.v.i.

Vstupními vrstvami byl LPIS ořezaný podle hranic okresů a vyloučené plochy (lesy, zastavěná území, vodní toky, vodní plochy, chráněná území a vojenské výcvikové prostory) ořezané podle hranic okresů. Nejprve se provedlo ořezání LPIS a vyloučených ploch podle hranic okresů. Dále se spojily ořezané plochy (LPIS a vyloučené plochy). Výsledky jsou uvedeny v obr. 2.

### 2.3 Stanovení výnosů jednotlivých konvenčních plodin podle jejich skutečného procentuálního zastoupení v krajích

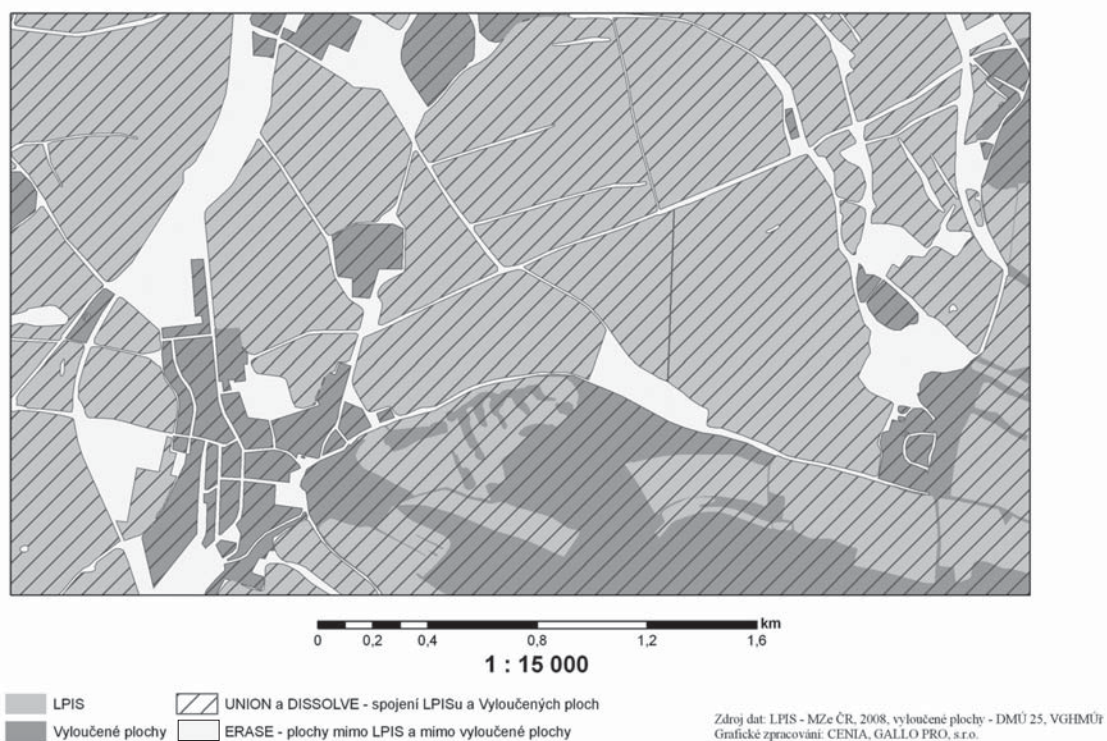
Pro stanovení výnosů jednotlivých konvenčních plodin podle jejich skutečného procentuálního zastoupení v krajích se agregovaná mapová vrstva bonitačně půdně ekologických jednotek (BPEJ) prolнула s mapou LPIS, a tím je zaručené určení výnosu slámy pouze na orné půdě. K plochám orné půdy byly přiřazeny rozlohy jednotlivých konvenčních plodin podle skutečného procentuálního zastoupení v krajích (tab. 1). Tím

### Průnik LPIS a BPEJ - výřez



Obr. 1 Průnik LPIS a BPEJ – výřez

### Plochy mimo LPIS a mimo vyloučené plochy - výřez



Obr. 2 Plochy mimo LPIS a mimo vyloučené plochy – výřez

Tab. 1 Průměrné velikosti osevni plochy za uvedené roky a procentuální zastoupení ploch pro jednotlivé plodiny

Pořadí plodin	Plodiny	Kraj:													
		Hl. m. Praha	Středočeský	Jihočeský	Plzeňský	Karlovarský	Ústecký	Liberecký	Královéhradecký	Pardubický	Vysočina	Jihomoravský	Olomoucký	Zlínský	Moravskoslezský
1	pšenice	37,78	33,15	28,99	30,22	28,74	40,41	27,32	31,14	26,81	22,70	34,64	29,03	31,86	28,23
2	ječmen sladovnícký	19,09	18,85	17,99	18,56	17,04	20,61	17,44	14,05	16,13	22,68	19,18	22,89	15,93	18,07
3	cukrovka technická	4,03	3,26	0,00	0,00	0,00	2,29	0,95	5,18	2,68	0,07	2,47	7,29	2,54	4,42
4	kukuřice na zrno	1,08	2,59	1,43	1,07	0,13	1,86	0,54	2,06	3,10	1,06	9,73	3,20	6,74	3,01
5	kukuřice na siláž	1,80	6,20	11,26	10,80	3,30	4,29	8,19	8,58	8,68	10,39	4,71	6,52	8,00	6,03
6	řepka	15,62	10,80	12,54	13,03	11,39	5,10	12,07	11,78	11,92	11,06	5,02	8,96	7,77	12,00
7	ostatní víceleté píceiny	0,92	1,77	3,77	2,46	8,90	1,90	6,42	3,70	4,44	4,04	1,06	2,44	2,27	5,33
8	žito	0,69	1,65	2,39	1,59	2,18	1,72	3,30	1,56	0,88	2,81	0,76	1,20	0,50	0,81
9	triticale	0,43	1,73	3,78	2,18	2,25	1,07	4,12	3,10	3,32	1,88	0,79	1,08	1,01	3,18
10	oves	1,82	1,46	3,97	3,13	4,28	1,46	4,99	1,82	1,91	2,50	0,62	1,29	1,82	2,40
11	ostatní konvenční plodiny podle výnosů pšenice	15,95	15,79	12,58	14,42	10,98	16,45	11,20	15,99	19,22	20,34	19,83	15,61	20,21	14,83
12	orná půda v klidu	0,79	2,75	1,30	2,54	10,81	2,84	3,46	1,04	0,91	0,47	1,19	0,49	1,35	1,69
	Celkem	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Tab. 2 Výstupy z programu za Plzeňský kraj

Plodiny	Skutečná procenta	Plocha v ha	Konečný výnos v t/ha	Suma: plocha × výnos v t	Pomocná proměnná	Plocha ze shapefile v ha	Plocha z programu v ha
pšenice	30,24	63685,0	5,27	350096,9	1	63685,0	63685,0
ječmen sladovnický	18,56	39094,2	4,18	172871,4	2	39094,2	39094,2
cukrovka technická	-	-	-	-	-	-	-
kukuřice na zrno	1,08	2271,7	39,83	90484,5	4	2271,7	2271,7
kukuřice na siláž	10,80	22749,3	39,31	902927,5	5	22749,3	22749,3
řepka	13,03	27454,8	2,60	77323,1	6	27454,8	27454,8
ostatní víceleté píceiny	2,46	5182,5	8,60	44652,7	7	5182,5	5182,5
žito	1,59	3349,0	4,37	14635,2	8	3349,0	3349,0
triticale	2,18	4593,1	4,24	19618,2	9	4593,1	4593,1
oves	3,13	6596,6	3,94	27230,6	10	6596,6	6596,6
ostatní konvenční plodiny dle pšenice	14,39	30312,8	0,00	127742,7	11	30312,8	30312,8
orná půda v klidu	2,53	5335,7	-	-	12	5335,7	5335,7
Celkem	100					210624,7	210624,6

Zdroj dat: Osevní plochy – ČSÚ, Metodika postupu – VÚKOZ, v.v.i., GALLOPRO, s.r.o., Algoritmus – CENIA.

#### Vysvětlivky:

Cukrovka technická – v Plzeňském kraji není v tabulce Osevních ploch zemědělských plodin uvedena, při výpočtu se přeskakuje a pokračuje se další plodinou.

Skutečná procenta – procenta, při kterých končí naplňování Pomocné proměnné příslušnou číslicí plodiny.

Plocha v ha – plocha, která se nasčítala pro příslušnou číslicí Pomocné proměnné.

Konečný výnos v t/ha – výnos, na kterém končí načítání ploch pro příslušnou číslicí Pomocné proměnné.

Suma: plocha × výnos v t – nasčítaná plocha × výnos pro příslušnou číslicí Pomocné proměnné.

Pomocná proměnná – číslo plodiny.

Plocha ze shapefile v ha – skutečná plocha přejatá ze shapefile pro příslušnou číslicí Pomocné proměnné.

Plocha z programu v ha – plocha, která se načítá programem.

vznikla mapa Stanovení rozloh jednotlivých plodin, např. pro Plzeňský a Středočeský kraj – (viz příloha č. 13 a č. 14). Dále jsou k jednotlivým plodinám přiřazeny výnosy v závislosti na hlavní půdně klimatické jednotce (HPKJ). Tímto krokem vznikla mapa výnosů jednotlivých plodin konvenčního zemědělství a tabulky s rozlohami a výnosy (viz tab. 2 a 3).

### 3 VÝSLEDKY

#### Energetický potenciál

Výnos plodiny je dán součtem výnosů dané plodiny ze všech jednotlivých ploch, kde je definován její výnos. Potenciál slamnatých plodin je vypočten vynásobením výnosu opravným koeficientem poměru zrna a slámy, např. pro pšenici je přepočtový koeficient 0,8, tedy hmotnost slámy je 80 % z hmotnosti zrna. Využitelný potenciál obilné slámy pro energetiku je však menší – je nutno odečíst jednak slámu využívanou pro živočišnou výrobu, dále pro případné zaorávání.

V současnosti využívané zaorání za účelem obohacení půdy humusem má význam jedině na těžších půdách, jinak jen při současném hnojení kejdou nebo jiným dusíkatým hnojivem. U řepky se může využít veškerá reziduální sláma pro energetické účely. Uvažovat je také třeba technologické ztráty při sklizni a transportu (až 10 %).

Výnos trvalých travních porostů je dán součtem výnosů TTP v závislosti na bonitě stanoviště všech ploch TTP. Tento tabulkový výnos TTP obsahuje „surový“ výnos na 1 ha (20 % sušiny), takže je výpočet nutno opravit koeficientem na 35 % sušiny.

Výsledné množství slámy je vynásobeno koeficientem výhřevnosti při vlhkosti, při které je uvažován výnos (15,7 GJ/t pro slamnaté, 17,5 GJ/t pro řepku). U kukuřice na siláž a TTP je výnos vynásoben koeficientem GJ/t, který udává množství energie (při produkci bioplynu) získané z 1 t siláže při 35 % sušiny. Pro kukuřičnou siláž 4,5 GJ/t a pro TTP 3,3 GJ/t.

Tab. 3 Výstupy z programu za Středočeský kraj

Plodiny	Skutečná procenta	Plocha v ha	Konečný výnos v t/ha	Suma: plocha × výnos v t	Pomocná proměnná	Plocha ze shapefile v ha	Plocha z programu v ha
pšenice	33,15	161709,9	5,75	1019345,2	1	161709,9	161709,9
ječmen sladovnický	18,85	91950,8	4,48	459877,0	2	91950,8	91950,8
cukrovka technická	3,26	15907,1	0	433017,1	3	15907,1	15907,1
kukuřice na zrno	2,60	12658,8	0	50959,3	4	12658,8	12658,8
kukuřice na siláž	6,20	30243,9	40,3	1220201,1	5	30243,9	30243,9
řepka	10,80	52689,4	2,8	160103,2	6	52689,4	52689,4
ostatní víceleté pícniny	1,77	8637,1	8,6	76724,3	7	8637,1	8637,1
žito	1,65	8050,0	4,48	36356,0	8	8050,0	8050,0
triticale	1,73	8439,9	4,48	37810,8	9	8439,9	8439,9
oves	1,46	7125,2	4,27	31700,1	10	7125,2	7125,2
zbytek dle pšenice	15,78	76975,8	4,2	365030,3	11	76975,8	76975,8
orná půda v klidu	2,75	13412,5	-	-	12	13412,5	13412,5
<b>Celkem</b>	<b>100</b>					<b>487800,5</b>	<b>487800,5</b>

Zdroj dat: Osevní plochy – ČSÚ, Metodika postupu – VÚKOZ, v.v.i., GALLOPRO, s.r.o., Algoritmus – CENIA.

#### Vysvětlivky:

Jsou stejné jako v tab. 2.

Tab. 4 Potenciál uvažovaných plodin v Plzeňském kraji

Plodiny	Procenta rozlohy	Výnos v t	Energetický potenciál v GJ
ječmen jarní	18,57	205870,80	2262520,09
pšenice ozimá	30,22	334431,80	4200463,41
řepka olejka	13,03	82287,00	1152018,00
kukuřice na siláž	10,80	870286,00	3916287,00
triticale	2,18	36913,30	753400,45
žito	1,59	14636,20	275746,01
oves	3,13	28496,90	469771,40

Tab. 5 Potenciál v Plzeňském kraji rozdělený pro spalování a produkci bioplynu

	v t	v GJ
zbytková sláma	352724,98	5537782,14
řepka	65829,60	1152018,00
<b>Celkem pro spalování</b>	<b>418554,58</b>	<b>6689800,14</b>
kukuřice na siláž	870286,00	3916287,00
TTP	1721035,36	5679416,69
<b>Celkem pro bioplyn</b>	<b>2591321,36</b>	<b>9595703,69</b>

Zbytková sláma je množství slámy po odečtení spotřeby hospodářských zvířat (koně, skot, ovce a berani). U kukuřice na siláž není odečtena spotřeba siláže hospodářských zvířat (skot).

Pro srovnání je v dalších tabulkách uveden potenciál v Jihomoravském a Ústeckém kraji. Grafické znázornění (mapy) viz barevné přílohy.

Tab. 6 Potenciál uvažovaných plodin v Jihomoravském kraji

Pořadí plodin	Plodiny	Procenta rozlohy	Výnos v t	Energetický potenciál v GJ
3	ječmen jarní	19,18	366625,10	4029209,85
4	pšenice ozimá	34,64	642788,10	8073418,54
5	řepka olejka	5,02	47781,40	668939,60
6	kukuřice na siláž	4,72	608401,10	2737804,95
7	triticale	0,79	26514,60	541162,99
9	žito	0,76	10690,60	201410,90
10	oves	0,62	8675,50	143015,62

Tab. 7 Potenciál v Jihomoravském kraji rozdělený pro spalování a produkci bioplynu

	v t	v GJ
zbytková sláma	753953,46	11837069,35
řepka	38225,12	668939,60
Celkem spalování	792178,58	12506008,95
kukuřice na siláž	608401,10	2737804,95
TTP	281744,82	929757,91
Celkem pro bioplyn	890145,92	3667562,86

Tab. 8 Potenciál uvažovaných plodin v Ústeckém kraji

Pořadí plodin	Plodiny	Procenta rozlohy	Výnos v t	Energetický potenciál v GJ
3	ječmen jarní	20,61	171295,80	1882540,84
4	pšenice ozimá	40,41	336474,40	4226118,46
5	řepka olejka	5,11	21169,00	296366,00
6	kukuřice na siláž	4,29	249937,70	1124719,65
7	triticale	1,07	14284,80	291552,77
9	žito	1,72	10781,60	203125,34
10	oves	1,46	8742,70	144123,41

Tab. 9 Potenciál v Ústeckém kraji rozdělený pro spalování a produkci bioplynu

	v t	v GJ
zbytková sláma	385220,16	6047956,55
řepka	16935,20	296366,00
Celkem pro spalování	402155,36	6344322,55
kukuřice na siláž	249937,70	1124719,65
TTP	902210,61	2977295,02
Celkem pro bioplyn	1152148,31	4102014,67

Při respektování výše uvedených faktorů lze očekávat, že potenciál obilné a řepkové slámy z klasického konvenčního zemědělství v ČR bude kolem 90 PJ, pokud nedojde ke snížení rozsahu ploch na úkor záměrně pěstované biomasy nebo ke změně rozlohy obilovin a řepky.

#### 4 DISKUZE A ZÁVĚRY

Metodám stanovení potenciálu biomasy se věnovali ve střední a východní Evropě. Při modelování uvažovali s následujícími zdroji biomasy: zemědělskými rezidui, lesními rezidui, přebytky dřeva z lesa a s biomasou z energetických plodin. Při modelování rozlohy půdy pro energetické plodiny uvažovali pouze s půdou, která není potřebná pro potravinářské a krmivářské

účely (van Dam, J. 2008; Lewandowski, I., Van Hooidonk, et al., 2006). Stejný postup byl zvolen i při metodickém postupu potenciálu biomasy pro Českou republiku. Kdy pro záměrnou produkci biomasy je uvažováno pouze s půdami, kde je nejnižší produkční potenciál pro klasické konvenční zemědělství.

Při výpočtu reziduální slámy bylo použito koeficientu, který zohledňuje poměr zrna a slámy, např. pro pšenici je přepočtový koeficient 0,8. Využitelný potenciál obilné slámy pro energetické účely je však menší – bylo nutno odečíst slámu využívanou pro živočišnou výrobu a případně i zaorávání. U řepky se veškerá reziduální sláma využívá pro energetické účely. Potenciál reziduální slámy v České republice se bude pohybovat kolem 90 PJ v závislosti zejména na rozloze obilovin a řepky. Dalším aspektem, který může ovlivňovat výši potenciálu, jsou stavy živočišné výroby, které v současnosti mají klesající tendenci.

Dostupné studie potenciálu biomasy v ČR, které dosud byly zpracovány, uvádějí potenciál zemědělské biomasy včetně záměrně pěstované v rozpětí 108,8 PJ – 159,4 PJ (Akční plán pro biomasu pro ČR na období 2009–2011, schválený leden 2009. [online]. [cit. 2009-09-22]. Dostupné na: <[http://www.mze.cz/attachments/AP\\_biokomasa\\_09-01.pdf](http://www.mze.cz/attachments/AP_biokomasa_09-01.pdf)>. Zpráva Nezávislé energetické komise rozděluje jednotlivé zdroje biomasy stejně a počítá se zemědělskou biomasou ve výši 193 PJ při zachování potravinové bezpečnosti Pačes et al., (2008).

Poslední studie (SEVEN) rozděluje biomasu na slámu a plevy, přebytky zrní a energetické plodiny. Největší potenciál je i touto studií přisuzován energii získané záměrným pěstováním různých druhů rychle rostoucích plodin (bylin a dřevin): 60–160PJ.

Rychle rostoucí dřeviny se v současné době v ČR již pěstují, avšak v malé míře. Výstupem metody stanovování potenciálu pomocí GIS je výnosová mapa, na které jsou vybrány a vytypovány oblasti (rozlohy), které by pro záměrnou produkci biomasy (rychle rostoucích dřevin) byly vhodné a jakých výnosů by v závislosti na bonitě stanoviště bylo dosaženo. V modelu je uvažováno se šesti výnosovými křivkami od 2 t (suš.)/ha/rok do 12 t (suš.)/ha/rok.

#### Poděkování

Tyto výsledky byly získány s přispěním grantového projektu SP/3g1/24/07 „Metodika a analýza potenciálu biomasy v ČR“ financovaného z výdajů na výzkum a vývoj z rozpočtové kapitoly Ministerstva životního prostředí ČR. Na získání těchto výsledků se podílel řešitelský tým projektu.

#### LITERATURA

- Akční plán pro biomasu pro ČR na období 2009–2011, schválený leden 2009. [online]. [cit. 2009-09-22]. Dostupné na: <[http://www.mze.cz/attachments/AP\\_biokomasa\\_09-01.pdf](http://www.mze.cz/attachments/AP_biokomasa_09-01.pdf)>
- Lewandowski, I., Van Hooidonk, A., Weger, J., Havlíčková, K., van Dam, J., Fasuj, A. (2006): The Potential Biomass for Energy Production in the Czech Republic. Biomass and Bioenergy, vol. 30, no. 5, p. 405–421, ISSN 0961-9534.

- Němec, J. (2001): Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky. Praha, VÚZE, 260 s., ISBN 80-85898-90-X.
- Pačes, V., Bubeník, J. Dlouhý, V., Hrdlička, F., Kubín, M., Moos, P., Otčenášek, P., Sequens, E., Vlk, V. (2008): Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu, 186 s.
- van Dam, J. M. CH. (2008): Sustainability of bioenergy chains: the result is in the details. Utrecht, University of Utrecht, 392 p., ISBN 978-90-8891-097-5.
- Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z OZE za rok 2006. Ministerstvo průmyslu a obchodu.
- Zpráva projektu SP/3g1/24/07 „Metodika a analýza potenciálu biomasy v ČR“ pro rok 2008.

*Rukopis doručen: 13. 7. 2009*

*Přijat po recenzi: 20. 8. 2009*



Vydává: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice  
Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice  
s Novou tiskárnou Pelhřimov, spol. s r. o., Krasíkovická 1787, 393 01 Pelhřimov

Odpovědný redaktor: Doc. Ing. Ivo Tábora, CSc. – (tabor@vukoz.cz)

Grafická úprava a sazba: Mária Táboraová

Náklad: 400 ks

Sazba provedena v Adobe InDesignu písmem Adobe Garamond Pro